তত্ত্ব ও প্রয়োগে রসায়ন

(প্রথম পত্র)

শ্রীশচীন কুমার ঘোষ, এম. এস-সি
অধ্যাপক, নিউ আলিপুর কলেজ, কলিকাতা
মাধ্যমিক পদার্থ ও রসায়ন বিজ্ঞানের অন্যতম লেখক
শ্রীগৌরগোপাল বসাক, এম. এস-সি
অধ্যাপক, নিউ আলিপুর কলেজ, কলিকাতা
শ্রীনীরান চন্দ্র গায়েন, এম. এস-সি
অধ্যাপক, নিউ আলিপুর কলেজ, কলিকাতা

এলাইড পাবলিশার্স প্রাইভেট লিমিটেড
১৭ চিত্তরঞ্জন এভিনিউ, কলিকাতা-৭০০০৭২
বোম্বাই ● নয়াদিল্লী
মাদ্রাজ ● বাঙ্গালোর

প্রথম সংস্করণ : আশ্বিন, ১৩৬৬

এলাইড পাবলিশার্স প্রাইভেট লিমিটেড

প্রকাশক : শ্রীআর, এন, সচদেব
এলাইড পাবলিশার্স প্রাইভেট লিঃ
১৭, চিত্তরঞ্জন এভিনিউ
কলিকাতা-৭০০০৭২

মুদ্রক : শ্রীফণিভূষণ রায়
প্রবর্ত্তক প্রিন্টিং এণ্ড হাফটোন লিঃ
৫২/৩, বিপিন বিহারী গাঙ্গুলী ষ্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০১২

সপ্রণাম উৎসর্গ ঃ

অধ্যাপক ল্যাড.লি মোহন মিত্র

ভূমিকা

বিজ্ঞানের পুস্তক সম্পর্কে রবীন্দ্রনাথের একটি উক্তি : "তথ্যের যাথার্থে এবং সেটাকে প্রকাশ করবার যথাযথ্যে বিজ্ঞান অল্পমাত্রও স্খলন ক্ষমা করে না।" রবীন্দ্রনাথের এই উক্তিকে নীতি হিসাবে গ্রহণ করেই যথাযথ-ভাবে বিভিন্ন তত্ত্ব ও তথ্যের সমাবেশ ঘটাতে আলোচ্য বইটিতে আমরা যত্নবান হয়েছি। মাতৃভাষার মাধ্যমে বিজ্ঞান প্রচার করা উচিত—শিক্ষা-বিদদের এটিই সুচিন্তিত অভিমত। আমাদের বিশ্বাস, শুধু মাতৃভাষা নয়—চলিত মাতৃভাষায় বিজ্ঞান শিক্ষাই হচ্ছে মানুষের সঙ্গে বিজ্ঞানের সহজ যোগাযোগ স্থাপনের সর্বোৎকৃষ্ট উপায়। বইটিতে তাই সহজ চলিত ভাষা ব্যবহৃত হয়েছে এবং এই ভাষাতেই পুরাতন বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা থেকে সাম্প্রতিকতম বৈজ্ঞানিক চিন্তাধারায় উত্তরণের প্রচেষ্টা করা হয়েছে।

ছাত্র-ছাত্রীদের বৈজ্ঞানিক প্রবণতাকে সুনিয়ন্ত্রিত করতে উচ্চমাধ্যমিক পর্যায়ে বিজ্ঞানের পাঠক্রম সবিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। একাজে পাঠ্য পুস্তকগুলির ভূমিকা ও দায়িত্ব নিঃসন্দেহে অপরিসীম। নব প্রবর্তিত একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর পাঠ্যসূচীর সঙ্গে সঙ্গতি রেখে সাম্প্রতিকতম দৃষ্টিভঙ্গীকে অবলম্বন করে সে দায়িত্ব পালনে আমরা কতটুকু সফল হয়েছি সুধী শিক্ষকবৃন্দ তা বিচার করবেন। বিষয়বস্তু প্রাঞ্জল করতে গিয়ে ছোট ছোট বিষয়মুখ প্রশ্নের যথাযথ আলোচনা রাখা হয়েছে। বাংলা শব্দের বানান ও বৈজ্ঞানিক শব্দের বানান ও বৈজ্ঞানিক শব্দের বাংলা পরিভাষার জন্য 'চলন্তিকা' এবং কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় প্রকাশিত 'বৈজ্ঞানিক পরিভাষা কোষ' পুস্তক দুইটি আমরা ব্যবহার করেছি।

বইটি প্রকাশের ব্যাপারে যেসব শিক্ষকবৃন্দ, বন্ধু ও শুভানুধ্যায়ী সাহায্য করেছেন এই সুযোগে তাঁদের আন্তরিক ধন্যবাদ জানাই। এলাইড পাবলিশার্স প্রাইভেট লিমিটেড্ বইটির প্রকাশের দায়িত্ব নিয়ে এবং প্রবর্তক প্রিন্টিং এণ্ড হাফটোন লিমিটেড যত্ন সহকারে এটির মুদ্রণের ব্যবস্থা করে আমাদের ধন্যবাদের পাত্র হয়েছেন। সর্বশ্রী নিতাই চাঁদ বসাক, প্রবীর কুমার রুদ্র ও নর্তকগোপাল বসাক চিত্রাঙ্কণের দায়িত্ব গ্রহণ করে আমাদের বাধিত করেছেন। তাঁদের কাছে আমরা চিরকৃতজ্ঞ। কলিকাতা নিউ আলিপুর

কলেজের রসায়নের অধ্যাপক শ্রীস্বপন কুমার ঘোষ এবং শ্রীরমাপ্রসাদ সরকার বইটির বিশেষ বিশেষ অংশের পাণ্ডুলিপি দেখে নানা মূল্যবান উপদেশ দিয়ে আমাদের অশেষ উপকার করেছেন। আমরা তাঁদের নিকট কৃতজ্ঞ। সবশেষে ধন্যবাদ জানাই শ্রীমতী জ্যোৎস্না ঘোষকে যাঁর অনুপ্রেরণায় আমাদের পরিশ্রম অনেক সহজ হয়েছে।

বইখানি ছাত্র-ছাত্রী ও শিক্ষক মহলে গৃহীত হলে আমাদের শ্রম সার্থক হবে। যথাসাধ্য চেষ্টা সত্ত্বেও অজ্ঞাতসারে কোনো ত্রুটি থেকে গেলে আমরা দুঃখিত ও ক্ষমাপ্রার্থী। বইটিকে সর্বাঙ্গসুন্দর ও তুচ্ছতম ত্রুটিমুক্ত করার জন্য যে কোনো উপদেশ ও সমালোচনা সাদরে গৃহীত হবে।

শ্রীশচীন কুমার ঘোষ
শ্রীগৌরগোপাল বসাক
শ্রীনীরান চন্দ্র গায়েন

SYLLABUS IN

CHEMISTRY (ORDINARY LEVEL)

(*Syllabus for Classes XI & XII*)
Paper-I (Full Marks 80)

Group-A (General & Physical Chemistry) *Marks 40*

I. Introduction. Chemistry—An experimental Science. Elements. Compounds and Mixtures.

II. Laws of Chemical Combination—Dalton's Atomic Theory (Critical Study). Gay Lussac's Law. Atomic weight (definition).

III. Concept of the Molecule and Avogadro's Hypothesis. Definition of molecular weight. Simple deductions from Avogadro's Hypothesis. Avogadro Number (Determination excluded). Mole concept.

IV. Symbols, Formula and Valency.—Chemical equations and their significance. Stoichiometry. Weight to weight, weight to volume and volume to volume calculations. Eudiometry. Vapour density (determination omitted), empirical formula and molecular formula.

V. Equivalent weight. Chemical methods of determination of equivalent and atomic weights. Dulong and Petit's Law. Mitcherlich's law of isomorphism. Calculations involving atomic and equivalent weights ; parallel calculations using mole concept.

VI. Acidic, Basic, Amphoteric and Neutral Oxides. Hydracids and Oxyacids. Basic Oxides and Hydroxides. Normal, Acid and Basic Salts—Hydrolysis. Equivalent weight of Acids, Bases and Salts. Standard solutions—normal and molar (and formal) solutions. Neutralisation, Indicator. Chemical Calculations on Acidimetry and Alkalimetry.

VII. Oxidation and Reduction—old concept and new electronic concept. Inter-relation between the two. Oxidation number—balancing equations by Oxidation-number method (simple examples only from reactions under the purview of the syllabus). Electropotential series of metals.

VIII. Boyle's Law, Charles' Law. Gas constant R ; pv=nRT. Dalton's Law of Partial Pressures. Graham's Law of diffusion of gases.

IX. Law of Mass Action. Dynamic Equilibrium and Equilibrium Constant. La Chatelier Principle and its application to some industrial reactions.

Group—B (*Inorganic Chemistry*) *Marks* 40

The Chemistry of an element or a compound mentioned in this syllabus includes Preparation, Properties, Reactions and Uses. Laboratory Processes should be included where necessary.

Chemistry of the following :—(Comparative study wherever possible).

I. Oxygen and Hydrogen. Water ; Hard Water and Soft Water. Softening of water.
Gravimetric & Volumetric Composition of Water.
Hydrogen peroxide and Ozone.

II. Air ; Nitrogen.

III. The Elements—Carbon, Phosphorus, Sulphur and Halogens (Fluorine excluded).

IV. Oxides
CO, CO_2, SiO_2, N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, P_4O_6, P_4O_{10}, SO_2, SO_3.

V. Oxyacids
Nitrous, Nitric, Phosphorous, Phosphoric, Sulphurous and Sulphuric Acids.

VI. Hydrides—Ammonia, Phosphine, Sulphuretted Hydrogen, Hydrochloric, Hydrobromic and Hydroiodic Acids.

VII. Manufacture (omitting details) of Ammonia (Conversion of Ammonia into Ammonium Sulphate and Urea), Nitric Acid, Sulphuric Acid (Contact process only) and Super-Phosphate of Lime, Coal Gas.

Paper–II (Full Marks 80)

Group -A (General and Physical Chemistry) Marks 25

I. Natural Radioactivity—Alpha, Beta and Gama rays. Concept of the nuclear atom—electron, proton and neutron. Extra nuclear structure. Descriptive approach of the Rutherford—Bohr model. Distribution of electrons in shells and sub-shells (s, p, d only). (Pauli's exclusion principle not needed). Atomic number, Isotope (Definition only with examples).

II. Mendeleyev's peridoic law. Periodicity of properties of elements. Significance of groups and sub-groups. Defects in Mendeleyev's Periodic Table and the modern interpretation (without details). Description of the Periodic Table on the basis of electronic arrangement. (Rare earths—mention only)

III. Chemical Bond. Electrovalent, covalent and co-ordinate bonds. Simple properties of electrovalent and covalent compounds. Electronegativity—(Qualitative concept only with examples in the left to right and top to bottom sequence of the Periodic Table). Polarity of bonds and molecular dipoles (Definition only with some examples). Hydrogen bond (Introduction only without details in relation to property).

IV. Solution, Solubility, Saturated, Unsaturated and Supersaturated solution. Solubility curves and determination of solubility. Suspension, Colloids and Dialysis. Crystallisation—Fractional Crystallisation. Water of Crystallisation and its determination. Solubility Product and its simple qualitative applications.

V. Electrolysis—Faraday's Laws of Electrolysis. Electrochemical equivalent. F/N=e. Qualitative presentation of the mechanism of the conductance in electrolyte solutions.

Group-B (Inorganic Chemistry) Marks 25

I. Ores and minerals. Fluxes, Slags and Gangues. Principles of Metallurgy. Carbon Reduction, Self Reduction, Electrolytic Reduction and electro-refining with reference to the following metals : Na, K, Ca, Mg, Çu, Zn, Al, Pb, Fe. Metallurgy in outline omitting details but including processing of ores of the above metals. Uses of the above metals. Steel—Manufacture (Bessemer and open hearth process only).

II. Chemistry of the above metals and of their Oxides, Hydroxides, Chlorides, Nitrates, Sulphates and Carbonates and Bicarbonates (in appropriate cases) including preparation, properties and uses.

III. Manufacture (omitting details) and uses of Caustic Soda, Caustic Potash, Sodium and Potassium Carbonate and Bicarbonate, Quick and Slaked lime, Bleaching Powder, Plaster of Paris, Cement, Anhydrons magnesium and aluminium chloride, Common Alum, Red Lead, Zinc Oxide.

Group-C (Organic Chemistry) Marks 30

I. Valency of Carbon and tetrahedral space model. Chain and Ring structures. Double and triple bonds. Benzene ring (Descriptive study with models of the above).

II. Radicals and functional groups. Homologous series upto C_4. Classification and nomenclature (old and modern) of open chain compounds upto C_4 chain. Structural isomerism.

III. Chemistry of aliphatic compounds (in each case general methods of preparation, general properties and uses of the compounds should be illustrated using the following typical examples).

(a) Saturated hydrocarbons : Methane and Ethane.

(b) Unsaturated hydrocarbons : Ethylene, and Acetylene (Planarity of Ethylene and linearity of Actylene to be illustrated with models).

(c) Halogen Derivatives : Ethylbromide, Chloroform and Iodoform.

(d) Alcohol : Methyl alcohol and Ethyl alcohol.

(e) Ether : Diethyl Ether (metamerism of ether and alcohol).

(f) Aldehydes and Ketones : Formaldehyde, Actaldehyde, Acetone, Chloral and its hydrates (Pinnacol formation omitted).

(g) Monobasic Acids : Formic and Acetic acids.

(h) Acid derivatives : Acetyl chloride, Acetamide. Acetonitrile, Acetic anhydride, Esters (organic and inorganic—Ethyl acetate and Ethyl hydrogen sulphate).

(i) Amines : Methyl amine, Dimethyl amine and trimethyl amine (Separation omitted). Quaternary ammonium compounds.

IV. (a) Chemistry of Aromatic compounds—Benzene—its preparation and the following reactions : Chlorination, Nitration, Sulphonation, Reduction, Friedel-Craft's Reaction. Toluene— its chlorination (Hydrolysis of the chlorinated products included) and its side chain oxidation. Mention of ortho, meta and para positions.

(b) Nitrobenzene, Aniline and their reactions including Diazo reaction (steam-distillation and separation of aniline by extraction to be demonstrated in the class).

(c) Phenol.

V. Distillation products of Coal Tar. Petroleum and their uses (Distillation process excluded).

তথ্যগত ভ্রম-সংশোধন তালিকা

পৃষ্ঠা নং	লাইন নং	ভুল	শুদ্ধ
53	25	1·25 *gl*	1·25 g/*l*
76	7	আপেক্ষিক	আণবিক
111	16	15·9994	7·9997
118	8	$Mg(OH)_2$	'$MgO+H_2$
122	3	Cl	Cl^-
133	2 (শেষ থেকে)	সংখ্যা	মোল-সংখ্যা
140	4	PO_4-*III*	PO_4'''
142	4 (শেষ থেকে)	পরিমাণ	গ্রাম-এককে পরিমাণ
147	10	0·05M	0·05
148	11	0·266 M	0·266
211	8 (শেষ থেকে)	$P_1 = P_2$	$P_1 = P_2$, $V_1 = V_2$
215	4,7	11·12	1·112
229	3	Cm*K*	Cm*q*
236	2	PCl_2	PCl_3
236	3	PCl_2	PCl_5
236	3	Cl	Cl_2
238	4 (শেষ থেকে)	$K_1 = \sqrt{\frac{27K_p}{64}}$	$K_1 = \sqrt{\frac{27K_p}{64}}$
239	3,22	চরম	অনুকূলতম
267	16	CuO	Cu
274	15	HO-O	HO-H
300	14	NaH_2PO_2	$3NaH_2PO_2$
323	8	$K_2SO_4+(NH_4)_2SO_4$	$2K_2SO_4+3(NH_4)_2SO_4$
325	27	$4H_2O=2CuCl$	$2H_2O=CuCl$
329	12	M O	MgO
335	23	OH, HCl	NH_2OH, HCl
368	7 (শেষ থেকে)	H_2O_2	H_2O
369	25	H_3P_4O	H_3PO_4

সুচীপত্র

বইটিতে ব্যবহৃত সাংকেতিক ভাষা

g = gram (গ্রাম)

kg = kilogram (কিলোগ্রাম)

l = litre (লিটার)

ml = millilitre (মিলিলিটার)

cc. = cubic centimetre (কিউবিক সেন্টিমিটার)

lb = pound (পাউণ্ড)

Atmos = atmosphere (বায়ুমণ্ডলীয় চাপ)

পাঃ গুঃ = পারমাণবিক গুরুত্ব

আঃ গুঃ = আণবিক গুরুত্ব/আপেক্ষিক গুরুত্ব

আঃ তাঃ = আণবিক তাপ/আপেক্ষিক তাপ

g/*l* = gram per litre (গ্রাম/লিটার)

প্রথম অধ্যায়

রসায়ন কি এবং কেন ?

(Chemistry—What and Why ?)

1.1. রসায়ন কি এবং কেন ? (Chemistry—what and why?) : আমরা প্রকৃতিতে যা দেখি প্রাণহীন অথবা প্রাণময়—তা কি দিয়ে তৈরী ? মানুষের অনন্ত জিজ্ঞাসার এটি একটি। মানুষ ধীরে ধীরে নিজ বুদ্ধির আলোকে তার সকল প্রশ্নেরই সমাধানের প্রয়াস পেয়েছে। মানুষ বুঝেছে, বিশ্ব প্রকৃতির মূল উপাদান দু'টি—শক্তি ও পদার্থ। তাই বিশ্বপ্রকৃতির দু'টি রূপ—শক্তিরূপ ও পদার্থরূপ।

এখন প্রশ্ন হচ্ছে পদার্থ কি ? **যার ভর আছে এবং যা মহাশূন্যের (Space) খানিকটা স্থান অধিকার করে থাকতে পারে তাই পদার্থ।** অতএব জল, বায়ু, শিলা, চিনি, লবণ, লোহা, সোনা, কাঠ, হীরে, কয়লা, ইত্যাদি সকলই হচ্ছে পদার্থ। এই পদার্থই নানা প্রকার সমবায়ে সৃষ্টি করেছে জড় জগৎ ও প্রাণী জগৎ ; অগণিত তাদের সংখ্যা, বৈচিত্র্যময় তাদের ধর্ম। কোনোটি তরল, কোনোটি কঠিন, আবার কোনোটি গ্যাসীয় ; কোনোটি বর্ণহীন, কোনোটি বর্ণযুক্ত ; কোনোটির কোনো গন্ধ নেই কোনোটি আবার গন্ধযুক্ত—গন্ধ কখনও সুমিষ্ট কখনও অপ্রীতিকর ; কোনোটি প্রাণীর খাদ্য, কোনোটি বিষ। আবার কখনও দেখা যায় একটি পদার্থ অপর পদার্থের সংস্পর্শে এসে নূতন ধর্মবিশিষ্ট নূতন পদার্থ সৃষ্টি করে। উদাহরণস্বরূপ, পটাসিয়াম সায়ানাইড নামক পদার্থটি তীব্র বিষ। কিন্তু তুঁতের সংস্পর্শে এসে তা এমন একটি পদার্থ সৃষ্টি করে যা বিষাক্ত নয়। আবার দেখা যায় একটি পদার্থ বিশ্লিষ্ট হয়ে নূতন ধর্মবিশিষ্ট একাধিক পদার্থ সৃষ্টি করে। উদাহরণস্বরূপ, মার্বেল পাথর যদি উত্তাপ পায় তবে বিশ্লিষ্ট হয়ে দু'টি পদার্থ সৃষ্টি করে—চুন এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড। এইভাবে পদার্থগুলির মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া-বিক্রিয়া (Action and interaction) চলে। কেন এমন হয় ? উত্তর হচ্ছে—পদার্থের সংযুতিই (Composition) এর কারণ। তাহলে প্রশ্ন, সংযুতি কি ? **একটি পদার্থে কি কি উপাদান কি অনুপাতে বর্তমান তাই হচ্ছে পদার্থটির সংযুতি।** উদাহরণস্বরূপ, সাধারণ লবণ একটি পদার্থ যাতে সোডিয়াম ও

ক্লোরিন এই পদার্থ দুইটি ওজন হিসাবে 23:35·45 অনুপাতে বর্তমান থাকে। সুতরাং, সাধারণ লবণের সংযুতি হল : Na:Cl= 23:35·45 (ওজন হিসাবে)।

রসায়ন হচ্ছে বিজ্ঞানের সেই শাখা যা প্রকৃতির পদার্থরূপ নিয়ে চিন্তা ভাবনা করে। অর্থাৎ **পদার্থের ধর্ম, তার সংযুতি, তাদের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া-বিক্রিয়া এবং এই ক্রিয়া-বিক্রিয়ার মূল নীতি যে বিজ্ঞানে আলোচনা করা হয় তাকেই রসায়ন বলে।**

বর্তমানে রসায়ন বিভিন্ন শাখায় বিভক্ত হয়ে গেছে : (i) **অজৈব রসায়ন (Inorganic Chemistry)** খনিজ পদার্থসমূহ, বিভিন্ন ধাতু, অধাতু, খনিজ অ্যাসিড, ক্ষার, লবণ, ইত্যাদির পরিচয় দেয় ; (ii) **জৈব রসায়ন (Organic Chemistry)** কার্বন ঘটিত যৌগসমূহের (প্রধানতঃ প্রাণী ও উদ্ভিদজাত পদার্থসমূহের) পরিচয় বহন করে ; (iii) **ভৌত রসায়ন (Physical Chemistry)** সন্ধান দেয় বিভিন্ন জাতীয় পদার্থের মধ্যে ক্রিয়া-বিক্রিয়ার সূত্র ও তত্ত্বের ও (iv) **জীব-রসায়ন (Biochemistry)** থেকে জানা যায় প্রাণীর খাদ্যগ্রহণ ও দেহ গঠনের পরিচয়। এছাড়াও আছে আরও অনেক শাখা। বস্তুতঃ নিত্যনূতন ধারণার উত্থান পতনের ফলে রসায়নের সীমা নিয়তই প্রসারিত।

আমরা রসায়ন কেন পড়ি ? আমরা বিজ্ঞান পড়ি কেন এই প্রশ্নের উত্তরের মধ্যেই রসায়ন পড়ার কারণ নিহিত আছে। প্রকৃতির বিভিন্ন নিয়ম-কানুন জেনে প্রকৃতিকে মানব সমাজের কল্যাণে নিয়োগ করাই বিজ্ঞানের লক্ষ্য। রসায়ন একটি বিজ্ঞান। তারও লক্ষ্য মানব সমাজের কল্যাণ। অর্থাৎ, পৃথিবীর অজস্র বস্তুরাজি সম্বন্ধে প্রত্যক্ষ জ্ঞান লাভ করে তাকে সরাসরি বা তা থেকে অন্য বস্তু তৈরী করে মানব সমাজের কল্যাণে নিয়োগ করাই রসায়নের কাজ। আজ রসায়নের দ্বারা মানব সমাজের প্রভূত কল্যাণ সাধন সম্ভব হয়েছে। খাদ্য, ঔষধ, জ্বালানি, কাপড় ইত্যাদির প্রয়োজন মানুষ রসায়নের দ্বারা মেটাচ্ছে।

1.2. রসায়ন একটি পরীক্ষামূলক বিজ্ঞান (Chemistry is an experimental science) : প্রকৃতি রহস্যময়। তার রহস্য উন্মোচনের অনুসন্ধিৎসা মানুষের সহজাত। প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর **পর্যবেক্ষণ** (Observation) থেকেই মানুষের মনে এই অনুসন্ধিৎসার সৃষ্টি। প্রথমে বিজ্ঞান বলে কিছু ছিল না ; মানুষ তখন কেবল দেখত অর্থাৎ, প্রথম স্তরে ছিল কেবল পর্যবেক্ষণ।

এটা হয়, ওটা হয়—কেবল মাত্র এইটুকুই। বহুদিন ধরে মানুষ বহু জিনিস পর্যবেক্ষণ করে সংগ্রহ করেছে প্রচুর উপাত্ত (Data)। তারপর এক সময় এই বিচ্ছিন্ন (Isolated) উপাত্তগুলির মধ্যে খুঁজে পেয়েছে অনেক সাধারণ সম্পর্ক (General relation)। এই সাধারণ সম্পর্কগুলিই হচ্ছে **প্রাকৃতিক সূত্র** (Natural law)। তখন থেকেই উদ্ভব বিজ্ঞানের। এই সাধারণ সূত্রগুলিই প্রকৃতির আচরণের সাধারণ বিবৃতি। কিন্তু পর্যবেক্ষণ সব সময় সহজবোধ্য নয়। যেমন, একটি বস্তুকে উত্তপ্ত করলে তা গরম হয় এবং গরম যে হয় তা স্পর্শের দ্বারা সহজেই বোঝা যায়। সকল বস্তুই উত্তাপে গরম হয়—এই যে সাধারণ নিয়ম তা একটি সহজ পর্যবেক্ষণের (এক্ষেত্রে স্পর্শের) দ্বারাই আবিষ্কৃত হচ্ছে। কিন্তু যদি প্রশ্ন করা যায়—সমপরিমাণ তাপ প্রয়োগ করলে সকল বস্তু কি সমভাবে উত্তপ্ত হয়?—তবে কেবল স্পর্শের সাহায্যে এ প্রশ্নের উত্তর দেওয়া সম্ভব নয়। এক্ষেত্রে পর্যবেক্ষণ কি হবে তা জানার জন্য বিশেষ ব্যবস্থা নেওয়া প্রয়োজন। **কোনো একটি প্রয়োজনীয় পর্যবেক্ষণ জানার জন্য যে বিশেষ ব্যবস্থা নেওয়া হয় তাকেই বলে পরীক্ষা** (Experiment)। একটি পরীক্ষা করতে গেলে পরীক্ষককে অনেক সময় প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি ব্যবহার করতে হতে পারে। বিজ্ঞানে প্রথমে একটি পরীক্ষা করা হয় এবং সেই পরীক্ষালব্ধ পর্যবেক্ষণ থেকে কোনো কিছু সিদ্ধান্ত (Inference) করা হয়।

আবার, অনেকগুলি পরীক্ষা থেকে যদি একই সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় তবে বলা হয় ঘটনাগুলি একটি সাধারণ নিয়ম মেনে চলে। যেমন, হাইড্রোজেন গ্যাস নিয়ে পরীক্ষা করে দেখা যায় যে, স্থির উষ্ণতায় এটির আয়তন যদি বাড়ে তবে তার দ্বারা প্রযুক্ত চাপ কমে। সকল গ্যাসীয় পদার্থ নিয়েই যদি বার বার একই সিদ্ধান্তে আসা যায় তবে বলা যায় যে, গ্যাসের ক্ষেত্রে উপরিউক্ত বিবৃতিটি প্রকৃতির একটি সাধারণ নিয়ম। সকল প্রকার বিজ্ঞানেই এই পদ্ধতি গ্রহণ করা হয়। এইজন্যই বলা হয় **বিজ্ঞান পরীক্ষামূলক জ্ঞানের সমন্বয়। রসায়নও একটি পরীক্ষামূলক বিজ্ঞান।** রসায়নের সূত্রগুলিও, যেমন, রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহ, রাসায়নিক স্থিতাবস্থার সূত্র, ইত্যাদি, পরীক্ষালব্ধ। পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, যে-কোনো সূত্রই প্রকৃতির আচরণের একটি সাধারণ বিবৃতি মাত্র। কেন প্রকৃতি এভাবে আচরণ করে তার বুদ্ধিগ্রাহ্য ব্যাখ্যার জন্য কতকগুলি স্বতঃসিদ্ধ সিদ্ধান্তকে স্বীকার করে নেওয়া হয়। কোনো একটি সূত্রের ব্যাখ্যার **জন্য যে স্বতঃসিদ্ধ**

সিদ্ধান্তগুলিকে স্বীকার করে নেওয়া হয় তাকেই বলে অঙ্গীকার (Assumption) বা **স্বীকার্য (Postulates)**। এরপরে আসে তত্ত্ব (Theory)। তত্ত্বের প্রথম অংশে থাকে কিছু স্বীকার্য। এর দ্বিতীয় অংশে থাকে, স্বীকার্য থেকে যুক্তিদ্বারা প্রতিষ্ঠিত কিছু বিবরণ যাকে বলে **উপপাদন** (Deduction) এবং তৃতীয় অংশে থাকে **সিদ্ধান্ত** (Conclusion)। এককথায়, অঙ্গীকার বা স্বীকার্য, উপপাদন এবং সিদ্ধান্ত সহকারে কোনো সূত্রের ব্যাখ্যা যে বিবরণে থাকে তাকে **তত্ত্ব** বলে। বিজ্ঞানে তত্ত্ব অবশ্যই পরীক্ষার দ্বারা সমর্থিত হওয়া চাই।

তত্ত্ব থেকে কখনও কখনও নূতন সূত্রের পূর্ব সংকেত দেওয়া যায়। সূত্রের ব্যাখ্যায় তত্ত্বের প্রয়োজনীয়তা অনস্বীকার্য। যেমন, আলোকের বেগ একটি প্রাকৃতিক ধ্রুবক রাশি। বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের যে-কোনো প্রান্তে শূন্যস্থানে এটির মান ধ্রুবক। কেন এমন হয় তা বোঝার জন্য আপেক্ষিকতা তত্ত্বের প্রয়োজন। অতএব, যে-কোনো বিজ্ঞানই তত্ত্ব ও সত্রের সমন্বয়। রসায়নও তাই।

সরল মৌলিক পদার্থের সমন্বয়ে যাদের বিশ্লেষণে আর কোনো সরলতর পদার্থ পাওয়া সম্ভব নয়। এই সরলতম পদার্থগুলি মৌল (Element) এবং বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের রাসায়নিক সমন্বয়ে যারা গঠিত হয় তারা যৌগ (Compound)। যাই হোক, গবেষণাগারে পরীক্ষা নিরীক্ষার দ্বারা বস্তুরাশির শ্রেণী বিভাগ শুরু হয় অষ্টাদশ শতকের মধ্যকাল থেকে। এই পর্বে যারা নায়ক

তাঁরা হলেন হেনরী ক্যাভেনডিশ (Henry Cavendish)—যিনি ধাতু ও অম্লের বিক্রিয়ার দ্বারা সর্বপ্রথম (1766 খ্রীঃ) মৌলিক পদার্থ হাইড্রোজেন তৈরী করেন, যোসেফ্ প্রিস্টলী (Joseph Priestley) যিনি বিভিন্ন অক্সাইড থেকে সর্বপ্রথম (1774 খ্রীঃ) মৌলিক পদার্থ অক্সিজেন তৈরী করেন, কার্ল শীলি (Carl Scheele)—যিনি সর্বপ্রথম (1777 খ্রীঃ) প্রমাণ করেন বায়ু মৌলিক পদার্থ অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের মিশ্রণ, আতয়েঁ ল্যাভয়সিয়ে (Antoine Lavoisier) এই পর্বের সর্বাধিনায়ক—যিনি 23টি মৌল যথা—হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, কার্বন, সালফার, ফসফরাস এবং 17টি ধাতুর—আবিষ্কর্তা। তারপর ঊনবিংশ শতকের প্রথম দশকে (1808 খ্রীঃ) জন ডালটন (John Dalton)-এর পরমাণুবাদ পদার্থের উপাদান ও শ্রেণী বিভাগ সম্পর্কে পরিষ্কার ধারণার সৃষ্টি করে। উপরিউক্ত বিভিন্ন বিজ্ঞানীর নিরলস প্রচেষ্টার ফলে পদার্থের আধুনিক রাসায়নিক শ্রেণীবিভাগ (Chemical classification) সম্ভব হয়েছে। রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফলে জানা যায় পৃথিবীর অগণিত বস্তুরাশি তিন শ্রেণীর পদার্থের অন্তর্গত। যথা ঃ (i) মৌলিক পদার্থ বা মৌল (Element) (ii) যৌগিক পদার্থ বা যৌগ (Compound) এবং (iii) মিশ্র পদর্থ (Mixture)।

(i) **মৌলিক পদার্থ বা মৌল** (**Element**) ঃ বয়েলের সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী মৌল হচ্ছে সেই সব সরল মূল পদার্থ যেগুলির আর কোনো সরলতর নূতন পদার্থে বিয়োজন (Decomposition) সম্ভব নয়। কিন্তু পরমাণু তত্ত্বের প্রতিষ্ঠা এবং তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity) আবিষ্কারের ফলে এই সংজ্ঞার্থের পরিমার্জন ও পরিবর্ধন হয়েছে। যে-পদার্থ একই প্রকার পরমাণুর সমবায়ে গঠিত এবং যাকে সাধারণ রাসায়নিক পরিবর্তনের দ্বারা কোনো নূতন পদার্থে বিয়োজন করা যায় না তাকেই বলে **মৌলিক পদার্থ**। বর্তমানে মোট 105টি মৌলের কথা জানা আছে। তার মধ্যে 92টি মৌল প্রকৃতিতে পাওয়া যায় এবং বাকীগুলি গবেষণাগারে কৃত্রিমভাবে তৈরী করা হয়েছে। মৌলিক পদার্থ তিন প্রকারের হয় ঃ

(a) **ধাতু**, (b) **অধাতু** ও (c) **ধাতুকল্প**। মৌলরাজির মধ্যে ধাতুর সংখ্যা প্রায় 80 এবং অধাতুর সংখ্যা 20।

(a) **ধাতু** ঃ সাধারণতঃ পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী ও কঠিন মৌলিক **পদার্থই ধাতু**। ধাতুগুলি আলোক প্রতিফলনের ক্ষমতা রাখে। টিনের পাত্র থেকে আলোক প্রতিফলিত হয় তা আমরা জানি। ধাতুগুলি **দ্যুতিসম্পন্ন**। ধাতুকে

পিটিয়ে যে-কোনো আকার দেওয়া যায়। সুতরাং ধাতুর **প্রসার্যতা** আছে এবং এগুলি **ঘাতসহ**। ধাতুগুলি তাপ ও বিদ্যুৎ **পরিবহন** সহজেই করে। অ্যালুমিনিয়াম, তামা ইত্যাদি বৈদ্যুতিক তার হিসেবে ব্যবহৃত হয়। ধাতুকে কোনো কিছু দিয়ে আঘাত করলে এক ধরনের শব্দ হয় তাকে **ধাতব শব্দ** বলে। ধাতুগুলির ঘনত্ব অন্য মৌল অপেক্ষা সাধারণতঃ বেশী। ধাতুগুলি অক্সিজেনের সঙ্গে রাসায়নিক পরিবর্তনে ক্ষারকীয় অক্সাইড গঠন করে (ষষ্ঠ অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। ধাতুগুলি হাইড্রোক্লোরিক ও সালফিউরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়। সোনা, তামা, লোহা, দস্তা, সোডিয়াম, ক্যালসিয়াম ইত্যাদি ধাতুর কয়েকটি উদাহরণ।

তবে সব ধাতুই উপরিউক্ত সমস্ত ধর্ম প্রকাশ করে না। যেমন, (1) পারদ—তরল পদার্থ, (2) বিস্‌মাথ—ভঙ্গুর অর্থাৎ এটির প্রসার্যতা ও ঘাতসহতা নেই, (3) লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম ইত্যাদির ঘনত্ব খুবই কম, (4) অ্যালুমিনিয়াম ও জিঙ্কের অক্সাইড আম্লিক ও ক্ষারকীয় উভয় রকমেরই হয়। ম্যাঙ্গানিজ ও ক্রোমিয়ামের কতকগুলি অক্সাইড আম্লিক। সোনা, প্লাটিনাম প্রভৃতি হাইড্রোক্লোরিক, সালফিউরিক ইত্যাদি অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয় না।

(b) অধাতু : সাধারণতঃ নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী, গ্যাসীয় বা কঠিন মৌলিক পদার্থ, যা আলোক প্রতিফলনে অক্ষম, দ্যুতিহীন, বিদ্যুৎ ও তাপের মৃদু পরিবাহী, অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে আম্লিক অক্সাইড গঠন করে এবং হাইড্রোক্লোরিক ও সালফিউরিক অ্যাসিডে অদ্রাব্য তাদেরই **অধাতু** বলা যায়। যেমন, অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, ক্লোরিন, ফসফরাস, ফ্লোরিন কার্বন ইত্যাদি। কঠিন অধাতুগুলি ভঙ্গুর এবং ধাতব শব্দের সৃষ্টি করে না। সাধারণতঃ অধাতুগুলির ঘনত্ব ধাতুগুলির তুলনায় কম হয়।

অধাতু উপরিউক্ত ধর্মগুলি প্রকাশ করলেও কিছুকিছু ব্যতিক্রম দেখা যায়। যেমন, (1) হাইড্রোজেন যদিও অধাতু তবু পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী (2) ব্রোমিন একটি অধাতব মৌল তথাপি এটি উদ্বায়ী তরল, (3) আয়োডিন আলোক প্রতিফলনে সক্ষম, (4) গ্রাফাইট (কার্বনের একটি রূপ) দ্যুতিসম্পন্ন (5) প্লাষ্টিক সালফারের প্রসার্যতা আছে।

(c) ধাতুকল্প : যে-সমস্ত পদার্থ কিছু ধাতুর ধর্ম আর কিছু অধাতুর ধর্ম প্রকাশ করে তাদের **ধাতুকল্প** বলে। যেমন, আরসেনিক, অ্যান্টিমনি, ও জারমেনিয়াম। এগুলি আলোক প্রতিফলনে সক্ষম, বিদ্যুৎ-পরিবাহী অথচ

ভঙ্গুর। এগুলির অক্সাইড আম্লিক। ধাতু এবং অধাতুর ধর্ম প্রকাশ করে বলেই এগুলিকে ধাতুকল্প বলে।

স্বাভাবিক উষ্ণতায় ও চাপে কোনো কোনো মৌল কঠিন, কোনোটা তরল আবার কোনোটা গ্যাসীয়। নিম্নে কয়েকটি অতি পরিচিত মৌলের নাম দেওয়া হল ঃ

কঠিন মৌলিক পদার্থ ঃ অ্যালুমিনিয়াম, ক্যালসিয়াম, কার্বন, কোবাল্ট তামা, সোনা, লোহা, সীসা, ম্যাগনেসিয়াম, নিকেল, ফসফরাস, প্লাটিনাম, রেডিয়াম, রূপা, সোডিয়াম, গন্ধক, টিন, ইউরেনিয়াম, দস্তা, ইত্যাদি।

তরল মৌলিক পদার্থ ঃ পারদ ও ব্রোমিন।

গ্যাসীয় মৌলিক পদার্থ ঃ ক্লোরিন, হাইড্রোজেন, নিয়ন, নাইট্রোজেন অক্সিজেন, ইত্যাদি।

মৌলরাজির প্রাপ্তিস্থান (Occurence of elements) ঃ পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, 92টি মৌল প্রকৃতিতে পাওয়া যায়। ভূ-পৃষ্ঠ, পৃথিবীর অভ্যন্তরভাগ এবং বায়ুমণ্ডলই এগুলির প্রাপ্তিস্থান। তবে 30টির মত মৌল মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতিতে পাওয়া যায় ; বাকীগুলি অন্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যৌগরূপে থাকে। নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি, যথা হিলিয়াম, নিয়ন, আরগন, ক্রিপ্টন, জেনন এবং অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, সালফার প্রভৃতি মৌল-গুলি মুক্ত অবস্থায় থাকে।

(ii) **যৌগিক পদার্থ বা যৌগ (Compound) ঃ নির্দিষ্ট ভরের অনুপাতে দুই বা ততোধিক মৌল সংযুক্ত হয়ে যে পদার্থ সৃষ্টি করে তাকে যৌগ বলে।** অতএব, যৌগের রাসায়নিক বিশ্লেষণ করলে দুই বা ততোধিক মৌল পাওয়া যাবে।

যেমন, আটভাগ ভরের হাইড্রোজেন ও এক ভাগ ভরের অক্সিজেন যুক্ত হয়ে জল উৎপন্ন হয় এবং 9 ভাগ ভরের জলের বিশ্লেষণে আটভাগ ভরের হাই-ড্রোজেন ও একভাগ ভরের অক্সিজেন পাওয়া যায়। সাধারণ লবণ, চিনি, অ্যাসিড, ক্ষার, চক ইত্যাদি যৌগের উদাহরণ।

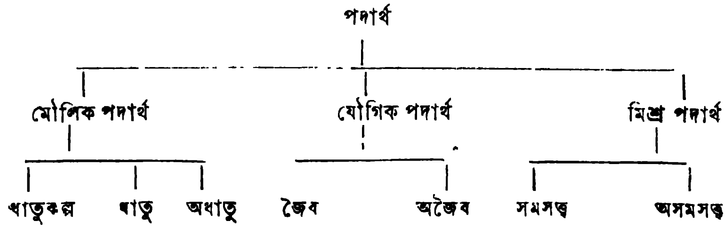
(iii) **মিশ্র পদার্থ (Mixture) ঃ যে-কোনো পরিমাণে একাধিক মৌল বা যৌগ স্ব স্ব ধর্ম অক্ষুণ্ণ রেখে সাধারণভাবে মিশ্রিত হয়ে যে পদার্থ সৃষ্টি করে তাকে মিশ্র পদার্থ বলা হয়।** স্বভাবতঃই মিশ্র পদার্থ ভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট নূতন কোনো পদার্থ নয়। এটি কেবল কতকগুলি যৌগ

বা মৌলের মিশ্রণ যা থেকে অতি সহজ পদ্ধতির দ্বারা মিশ্রিত যৌগ বা মৌল-গুলিকে পৃথক করা সম্ভব।

উদাহরণ, বায়ু—প্রধানতঃ নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের মিশ্রণ; সমুদ্র-জল—বিভিন্ন প্রকার লবণ ও জলের মিশ্রণ।

মিশ্র পদার্থ দুই প্রকারের হতে পারে—**সমসত্ত্ব** এবং **অসমসত্ত্ব**। কোনো মিশ্রণের সব অংশে উপাদানগুলির অনুপাত যদি সমান থাকে তবেই সেই মিশ্রণকে **সমসত্ত্ব মিশ্রণ** বলে। আর তা যদি না হয় তবে সেই মিশ্রণকে অসমসত্ত্ব বলে। যেমন লবণ-জল একটি সমসত্ত্ব মিশ্রণ। কিন্তু মাটি তা নয়।

নিম্নে পদার্থের সাধারণ শ্রেণী বিভাগের ছক দেওয়া হল ঃ



প্রশ্নাবলী

1. আমরা বিজ্ঞান পড়ি কেন? রসায়ন পড়ার সার্থকতা কোথায়?

2. প্রাকৃতিক সূত্র কাকে বলে? কিভাবে প্রাকৃতিক সূত্র আবিষ্কার করা যায়?

3. পরীক্ষা কাকে বলে? বিজ্ঞানে পরীক্ষার প্রয়োজন হয় কেন?

4. মৌলিক পদার্থ, যৌগিক পদার্থ ও মিশ্র পদার্থ কাকে বলে? নিম্ন-লিখিত পদার্থগুলি কোন শ্রেণীর পদার্থ বল? অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড, ব্রোমিন, সমুদ্রজল, ধোঁয়া, কার্বন ডাইঅক্সাইড, নাইট্রোজেন, সোনা, পিতল, গন্ধক, চুন, বারুদ।

5. ধাতু ও অধাতুর বৈশিষ্ট্য কি? ধাতুকল্প কাকে বলে? নিম্নলিখিত পদার্থগুলি ধাতু, অধাতু না ধাতুকল্প?

বিসমাথ, আর্সেনিক, ফসফরাস, আয়োডিন, প্লাটিনাম।

দ্বিতীয় অধ্যায়

রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহ

(Laws of Chemical Combination)

2.1. সূচনা (Introduction) : প্রকৃতিতে প্রাপ্ত এবং রসায়নাগারে উৎপন্ন যৌগগুলিকে দুই শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়—সংযুতিমিতিয় (stoichiometric) এবং অসংযুতিমিতিয় (non-stoichiometric) যৌগ। যে-সমস্ত যৌগে গঠনকারী মৌলগুলি রাসায়নিক সংকেত নির্দেশিত ভরের অনুপাতে বর্তমান সে-সমস্ত যৌগকে **সংযুতিমিতিয় যৌগ** বলে। যেমন—কার্বন ডাইঅক্সাইডের সংকেত CO_2। এই সংকেত থেকে জানা যায়, 12 ভাগ ওজনের কার্বন 32 ভাগ ওজনের অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 44 ভাগ ওজনের এই যৌগটি উৎপন্ন করে। প্রকৃত পরীক্ষায়ও কার্বন ও অক্সিজেনের মধ্যে এই অনুপাত দেখা যায়। অতএব, CO_2 একটি সংযুতিমিতিয় যৌগ। আবার কিছু কিছু যৌগ আছে যাদের মধ্যে গঠনকারী মৌলগুলি রাসায়নিক সংকেত নির্দেশিত অনুপাতে থাকে না। এগুলি **অসংযুতিমিতিয় যৌগ**। যেমন, কপারকে গন্ধকের উপস্থিতিতে পুড়িয়ে যে কপার সালফাইড (CuS) পাওয়া যায় তা অসংযুতিমিতিয় যৌগ। অসংযুতিমিতিয় যৌগগুলি কোনো সূত্র মেনে গঠিত হয় না। কিন্তু সংযুতিমিতিয় যৌগগুলি কতগুলি সূত্র অনুযায়ী গঠিত হয়। এই সূত্রগুলিকে বলা হয় রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহ বা সংযুতিমিতিয় সূত্রসমূহ (Laws of stoichiometry)। এইসূত্রগুলিই এখানে আমাদের আলোচ্য বিষয়। অষ্টাদশ শতকের শেষ দশক এবং ঊনবিংশ শতকের প্রথম দশক জুড়ে বহু বিজ্ঞানী বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার পরিমাণগত দিক অর্থাৎ বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের ভরের মধ্যে তুলনামূলক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে মৌলিক সূত্রগুলি আবিষ্কার করেন।

2.2. সংযুতিমিতিয় সূত্রসমূহ (Laws of Stoichiometry) :

(1) **ভরের নিত্যতা সূত্র** ; ল্যাভয়সিয়ে, (Lavoisier), 1789

(2) **স্থিরানুপাত সূত্র** ; প্রাউস্ট, (Proust), 1797

(3) **গুণানুপাত সূত্র** ; ডাল্‌টন, (Dalton), 1803,

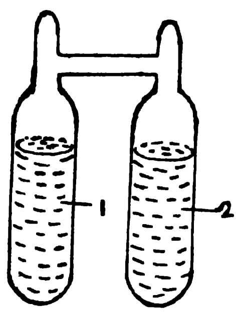
(4) **মিথোনুপাত সূত্র বা তুল্যাংক অনুপাত বা যোজনভার সূত্র** ; রিখ্‌টার, (Richter), 1792

(5) **গ্যাসায়তন সূত্র** ; গে-লুস্যাক্, (Gay Lussac), 1808

(1) ভরের নিত্যতা সূত্র (Law of conservation of mass) : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট এক বা একাধিক বিক্রিয়কের (Reactants) সমগ্র ভর বিক্রিয়ার পরে উৎপন্ন এক বা একাধিক পদার্থের (Products) সমগ্র ভরের সঙ্গে সমান হয়। অর্থাৎ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পদার্থের রূপান্তর ঘটে মাত্র ; এটির ভরের হ্রাস বা বৃদ্ধি হয় না।

যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় A পদার্থের m গ্রাম B পদার্থের n গ্রামের সঙ্গে বিক্রিয়া করে C ও D নামে দুইটি পদার্থের যথাক্রমে x ও y গ্রাম উৎপন্ন করে তবে উপরিউক্ত সূত্রানুযায়ী, $m+n=x+y$ হবে।

ভরের নিত্যতা সূত্রের পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ : ল্যাণ্ডোল্টের পরীক্ষা (Landolt's experiment) : ল্যাণ্ডোল্ট প্রায় পনের বৎসর ধরে পরীক্ষা করে এই সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করেন। তিনি ইয়েনা (Jene) কাঁচের তৈরী H—আকৃতির (2.2.1 নং চিত্র) পাত্রের দুই বাহুতে বিক্রিয়াকারী দুইটি ভিন্ন পদার্থের দ্রবণ রেখে উভয় নলের খোলা মুখ উত্তাপ দিয়ে বন্ধ করে দেন। একটি অতি সূক্ষ্ম তুলা যন্ত্র, যাতে এক কোটি ভাগের এক ভাগ ওজনের পরিবর্তন নির্ণয় করা যায়, তার এক প্রান্তে পূর্বোক্ত নলটি রেখে অপর প্রান্তে একই আকৃতি ও ওজনের একটি খালি নল রেখে তিনি বিক্রিয়ার পূর্বে বিক্রিয়াকারী পদার্থদ্বয়ের মিলিত ওজন নিলেন। এবার নলটিকে উল্টিয়ে দুই বাহুর দ্রবণকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হয়। ফলে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে এবং সামান্য তাপ সৃষ্টি হয়। বিক্রিয়ার বেশ কিছুক্ষণ পরে টিউবটি গবেষণাগারের উষ্ণতা পেলে পুনরায় তার ওজন লওয়া হয়। দেখা যায়, ওজন দুইটি প্রায় সমান।



1. হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড
2. আয়োডিক অ্যাসিড
2.2.1. নং চিত্র

ম্যানলি (Manley, 1912) H-টিউবের দুই বাহুতে বেরিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম সালফেটের দ্রবণ নিয়ে এবং দশ কোটি ভাগের এক ভাগ ওজন-পার্থক্য ধরা যায় এমন তুলা যন্ত্র ব্যবহার করেও এই সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করেন।

আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্বানুযায়ী (Theory of Relativity) ভরকে শক্তিতে বা শক্তিকে ভরে রূপান্তরিত করা সম্ভব। সেক্ষেত্রে ভর কখনও

নিত্য হতে পারে না। কিছু পরিমাণ ভর অদৃশ্য হয়ে শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। তখন ভরের নিত্যতা সূত্র নির্ভুল থাকে না। কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপের উদ্ভব বা শোষণ এত কম পরিমাণে ঘটে যে, সেক্ষেত্রে এই সূত্র নির্ভুল থাকে।

(2) **স্থিরানুপাত সূত্র (Law of Constant Proportion) :** একই যৌগ সর্বদাই একই প্রকার মৌলরাজিদ্বারা গঠিত হয় এবং যৌগটির মৌলিক উপাদানগুলির ভরের অনুপাত সর্বদাই স্থির থাকে।

মনে করা যাক, A ও B মৌলদ্বয়ের দ্বারা গঠিত AB একটি যৌগ যা বিভিন্ন ভাবে উৎপন্ন করা যায়। বিশুদ্ধ AB-এর যে-কোনো নমুনাই পরীক্ষা করা যাক না কেন তাতে A ও B মৌলদ্বয়ই সর্বদা পাওয়া যাবে। যদি ধরা যায় যে, AB তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে তৈরী করা যায় এবং

প্রথম পদ্ধতিতে	A মৌলের	a	গ্রাম	B মৌলের	b	গ্রামের	সঙ্গে	যুক্ত হয়
দ্বিতীয়	,, A	,,	x	,, B	,,	y	,,	,,	,, ,,
তৃতীয়	,, A	,,	m	,, B	,,	n	,,	,,	,, ,,

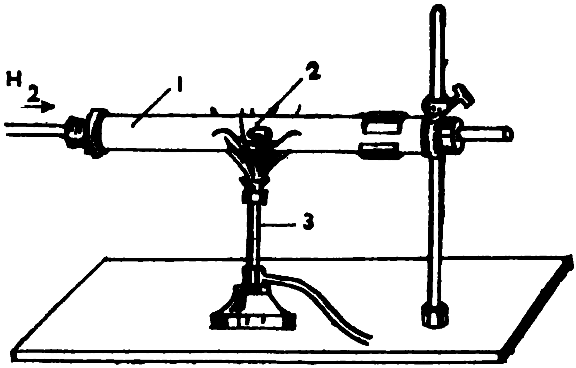
তবে দেখা যাবে, $a : b = x : y = m : n$

উদাহরণ : (i) অ্যামোনিয়াকে (NH_3) অন্ততঃ চারটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে প্রস্তুত করা যায়। যেভাবেই তৈরী হোক না কেন ওজন অনুপাতে 17·031 ভাগ অ্যামোনিয়াতে সর্বদাই নাইট্রোজেন 14·007 ভাগ এবং 3·02 ভাগ হাইড্রোজেন বর্তমান থাকে।

(ii) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড (HCl) যৌগটিকে বহুভাবে তৈরী করা সম্ভব হলেও সব ক্ষেত্রেই 35·453 ভাগ ওজনের ক্লোরিন 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 36·461 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন করে।

স্থিরানুপাত সূত্রের পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ : কিউপ্রিক অক্সাইড বিভিন্ন পদ্ধতিতে তৈরী করা যায়। যেমন—ধাতব কপারকে বায়ুতে উত্তপ্ত করে, কপারকে ঘন নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করে দ্রবণকে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে বা কপার সালফেটকে বায়ুতে উত্তপ্ত করে CuO-এর বিভিন্ন নমুনা তৈরী করা যায়। যে-কোনো একটি বিশুদ্ধ নমুনা থেকে কিছুটা পূর্বে-ওজন-করা একটি বোটে নিয়ে ওজন লওয়া হয়। এইবার CuO সহ বোটটিকে ভূমি থেকে কিছুটা উপরে রক্ষিত অনুভূমিক কাঁচ নলে প্রবেশ করানো হয়। নলটি বুনসেন দীপের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয় এবং এটির মধ্যে বিশুদ্ধ ও

অনার্দ্র হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করা হয়। হাইড্রোজেনের দ্বারা CuO বিজারিত হয়ে ধাতব Cu-এ পরিণত হয়।



1. অনুভূমিক কাঁচ নল, 2. বোট 3. বুনসেন দীপ
2. 2. 2 নং চিত্র

বিজারণ ক্রিয়া সম্পূর্ণ হওয়ার পর বোটটিকে গবেষণাগারের উষ্ণতায় এনে ওজন লওয়া হয়।

গণনা : মনে করা যাক—শূন্য বোটের ওজন $= x$ g
CuO সহ বোটের ওজন $= y$ g
ধাতব কপার সহ বোটের ওজন $= z$ g
সুতরাং, CuO-এর ওজন $= (y-x)$ g
Cu-এর ওজন $= (z-x)$g
এবং অক্সিজেনের ওজন $= (y-z)$g

$$\therefore \text{CuO-এর মধ্যে Cu-এর শতকরা মাত্রা} = \frac{100 \times (z-x)}{(y-x)}$$

$$\text{এবং ,, ,, ,, অক্সিজেনের ,, ,,} = \frac{100 \times (y-z)}{(y-x)}$$

অনুরূপভাবে, CuO-এর অন্যান্য নমুনা নিয়ে পূর্বোক্ত রাসায়নিক বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় Cu এবং অক্সিজেনের শতকরা মাত্রা সবক্ষেত্রে একই থাকে। যেকোনো যৌগ নিয়ে রাসায়নিক বিশ্লেষণ করলে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, প্রত্যেকটি যৌগের মৌলিক উপাদানগুলি এবং তাদের ওজনের অনুপাত নির্দিষ্ট।

2.1 নং গাণিতিক উদাহরণ : একটি পরীক্ষায় 0·936g. জিংককে অক্সাইডে পরিণত করা হয়। এতে তৈরী হয় 1·165g. ZnO। আরেকটি

পরীক্ষায় 1·236g. ধাতুকে সালফিউরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করা হয়। এই দ্রবণে অতিরিক্ত সোডিয়াম কার্বনেট যোগ করে জিংক কার্বনেটের অধঃক্ষেপ ফেলা হয়। তারপর এই অধঃক্ষেপকে অতি উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে ZnO-এ রূপান্তরিত করা হয়। দেখা যায় ZnO-এর ওজন 1.538g.। এই পরীক্ষা থেকে স্থিরানুপাত সূত্রের সত্যতা বিচার কর।

সমাধান : প্রথম পরীক্ষায়—Zn-এর ওজন=0.936g

ZnO-এর " =1·165g এবং

অক্সিজেনের ওজন=(1.165—0.936)g. =0.229g

∴ ZnO-এর মধ্যে Zn ও অক্সিজেনের ওজনের অনুপাত হল

0·936 : 0·229=4·09:1

দ্বিতীয় পরীক্ষায়—Zn-এর ওজন=1·236g, ZnO-এর ওজন=1.538 g

∴ অক্সিজেনের ওজন=(1.538 – 1.236)g=0.302g

∴ ZnO-এর মধ্যে Zn ও অক্সিজেনের ওজনের

অনুপাত হল 1.236 : 0.302=4.09 :1

যেহেতু দুইভাবে প্রাপ্ত ZnO-এ Zn ও অক্সিজেনের ওজনের অনুপাত স্থির সেহেতু বলা যায় স্থিরানুপাত সূত্রটি সত্য।

কখনও কখনও একই মৌলবর্গ সংযুক্ত হয়ে একাধিক যৌগ গঠন করতে পারে। সেক্ষেত্রে বিভিন্ন যৌগে মৌলবর্গের ওজনের অনুপাত বিভিন্ন হয়। যেমন, কপার এবং অক্সিজেন সংযুক্ত হয়ে দুই প্রকারের অক্সাইড উৎপন্ন করে। এক প্রকার অক্সাইডে কপার ও অক্সিজেনের ওজনের অনুপাত 3·971 : 1 এবং আরেক প্রকার অক্সাইডে তাদের অনুপাত 7·943 : 1। বায়ুতে কপার-কে উত্তপ্ত করে অক্সাইডে রূপান্তরিত করলে তাতে উভয় অক্সাইডেরই থাকার সম্ভাবনা। এই অবস্থায় রাসায়নিক বিশ্লেষণ করলে কপার এবং অক্সিজেনের ওজনের অনুপাত 3·971 এবং 7·943 এর মধ্যবর্তী যে-কোনো সংখ্যা হতে পারে। ফলে মনে হওয়া স্বাভাবিক যে, কপার অক্সাইডের সংযুতি স্থির নয় ; বরং একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে পরিবর্তনশীল। বিজ্ঞানী বার্থোলেট (Berthollet) এই ভুল করেছিলেন। অতঃপর প্রাউস্ট বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন যে, এই পরিবর্তনের কারণ হচ্ছে একই মৌলরাজি বিভিন্ন তৌলিক অনুপাতে যৌগ গঠন করতে পারে। এরূপ কোনো একটি যৌগ তৈরী করতে গিয়ে একাধিক যৌগের বিভিন্ন অনুপাতে মিশ্রণ তৈরী হওয়াই

স্বাভাবিক। যাই হোক এইসব পরীক্ষা-নিরীক্ষার এবং ডাল্টনের গবেষণার ফলে রাসায়নিক সংযোগ সম্বন্ধীয় একটি সূত্রের উদ্ভব হয়। সূত্রটি গুণানুপাত সূত্র।

(3) **গুণানুপাত সূত্র (Law of multiple proportion) :** দুইটি মৌল সংযুক্ত হয়ে একাধিক যৌগ গঠন করলে একটি মৌলের নির্দিষ্ট ওজনের সঙ্গে অপর মৌল যে বিভিন্ন ওজনে যুক্ত হয় সেই ওজনগুলির মধ্যে একটি সরল অনুপাত বর্তমান থাকে।

যদি A ও B মৌলদ্বয় যুক্ত হয়ে দুইটি যৌগ গঠন করে এবং প্রথম যৌগে A মৌলের a g-এর সঙ্গে B মৌলের b g ও দ্বিতীয় যৌগে A মৌলের a g-এর সঙ্গে B মৌলের b′ g যুক্ত হয়, তবে b এবং b′ এর মধ্যে একটি সরল অনুপাত বর্তমান থাকবে।

উদাহরণ : (i) কার্বন ও হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে মিথেন (CH_4) ও ইথেন (C_2H_6) যৌগ দুইটি উৎপন্ন করে। পরীক্ষায় দেখা যায় ঃ

মিথেনে $4 \times 1{\cdot}008$g হাইড্রোজেন 12·00g C-এর সঙ্গে যুক্ত হয়।

∴ 1·008g ,, 3g C-এর ,, ,, ,,

ইথেনে $6 \times 1{\cdot}008$g হাইড্রোজেন 24g C-এর সঙ্গে যুক্ত হয়।

∴ 1·008g ,, 4g C-এর ,, ,, ,,

সুতরাং, যৌগ দুইটিতে কার্বনের বিভিন্ন ওজন (3g এবং 4g) যা 1·008g হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় তাদের মধ্যে সরল অনুপাত বর্তমান এবং তা 3:4।

(ii) হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন যুক্ত হয়ে উৎপন্ন করে জল (H_2O) ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড (H_2O_2)।

জলে $2 \times 1{\cdot}008$g হাইড্রোজেন যুক্ত হয় 16·00g অক্সিজেনের সঙ্গে

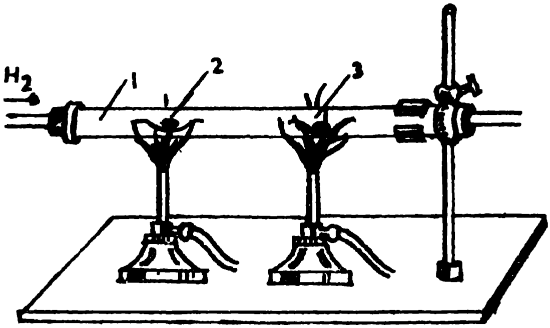
∴ 1.008g. ,, ,, ,, 8g ,, ,,

H_2O_2-তে $2 \times 1{\cdot}008$g. হাইড্রোজেন যুক্ত হয় 32g অক্সিজেনের সঙ্গে

∴ 1·008g হাইড্রোজেনের সঙ্গে 16g অক্সিজেন যুক্ত হয়। সুতরাং নির্দিষ্ট ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে অক্সিজেন যে ভিন্ন ভিন্ন ওজনে যুক্ত হয় তার অনুপাত 8:16 বা 1 : 2—এটি একটি সরল অনুপাত।

গুণানুপাত সূত্রের পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ ঃ পূর্বে ওজন-করা দুইটি আলাদা পোর্সিলেন বোটের একটিতে লাল কিউপ্রাস অক্সাইড এবং অপরটিতে কালো কিউপ্রিক অক্সাইড নিয়ে ওজন করা হয়। এবার বোট দুইটিকে ভূমি থেকে কিছুটা উপরে রক্ষিত একটি অনুভূমিক কাঁচ নলে প্রবেশ করানো হয়। কাঁচ নলের এক প্রান্ত থেকে চালনা করা হয় বিশুদ্ধ ও শুষ্ক হাই-

ড্রোজেন গ্যাস এবং নলটিকে বুনসেন দীপের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়।



1. অনুভূমিক কাঁচ নল, 2. বোট, 3. বোট

2.2.3. নং চিত্র

হাইড্রোজেনের দ্বারা কপারের অক্সাইডগুলি বিজারিত হয়ে ধাতব কপারে রূপান্তরিত হয়। বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হলে বোট দুইটিকে শোষকাধারে (Desiccator) রেখে ঠাণ্ডা করে ওজন করা হয়।

গণনা : ধরা যাক—এক নং বোটের ওজন $= w_1 g$

এক নং বোট + কপারের অক্সাইডের ওজন $= w_2 g$

এক নং বোট + ধাতব কপারের ওজন $= w_3 g$

$\therefore$ Cu-এর ওজন $= (w_3 - w_1)g$ এবং অক্সিজেনের ওজন $= (w_2 - w_3)g$

কাজেই $(w_2 - w_3)g$ অক্সিজেন যুক্ত হয় $(w_3 - w_1)g$ Cu-এর সঙ্গে

$\therefore$ 1g ,, ,, ,, $\frac{w_3 - w_1}{w_2 - w_3}g$,, ,, ,,

আবার, দুই নং বোটের ওজন $= ag$

দুই নং বোট + কপারের অক্সাইডের ওজন $= bg$

দুই নং বোট + ধাতব Cu-এর ওজন $= cg$

$\therefore$ Cu-এর ওজন $= (c - a)g$ এবং অক্সিজেনের ওজন $= (b - c)g$

অর্থাৎ, $(b - c)g$ অক্সিজেন যুক্ত হয় $(c - a)g$ Cu-এর সঙ্গে

$\therefore$ 1 g ,, ,, $\frac{c - a}{b - c}g$,, ,, ,,

অতএব, Cu-এর যে দুইটি ওজন 1g অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় তাদের অনুপাত হল $\frac{w_3 - w_1}{w_2 - w_3} : \frac{c - a}{b - c}$।

প্রকৃত পরীক্ষায় দেখা যায় এই অনুপাত সর্বদাই 1 : 2 হয়।

2.2নং গাণিতিক উদাহরণ : (i) A ও B মৌলদ্বয় পরস্পর যুক্ত হয়ে তিনটি যৌগ গঠন করে। যৌগ তিনটিতে B এর পরিমাণ যথাক্রমে 25%, 14·28% এবং 7·69% হলে দেখাও যে, পরীক্ষায় প্রাপ্ত উপাত্ত গুণানুপাত সূত্রানুগ।

সমাধান : প্রথম যৌগে 100g-এর মধ্যে B আছে 25g,

∴ A আছে (100 – 25) বা 75g। দ্বিতীয় যৌগে 100g. এর মধ্যে—
B আছে 14·28g। ∴ A আছে (100 – 14·28) বা 85·72g।
তৃতীয় যৌগে 100g. এর মধ্যে B আছে 7·69 g
∴ A আছে (100 – 7·32) বা 92·31 g
প্রথম যৌগে 25 g B-এর সঙ্গে যুক্ত হয় 75g A

∴ 1g B-এর " " " $\frac{75}{25} = 3$g A

অনুরূপে, দ্বিতীয় যৌগে 1g- B-এর সঙ্গে যুক্ত হয় 6g A
এবং তৃতীয় যৌগে 1g. B " " " " 12g A

দেখা যাচ্ছে, B-এর একটি নির্দিষ্ট ওজনের সঙ্গে (অর্থাৎ 1g B-এর সঙ্গে) যে বিভিন্ন ওজনে A যুক্ত হয় সেই ওজন গুলির মধ্যে অনুপাত 3 : 6 : 12 বা 1 : 2 : 4। এটি একটি সরল অনুপাত। অতএব প্রশ্নোক্ত উপাত্ত গুণানুপাত সূত্রানুগ।

(ii) সীসা অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে তিন প্রকারের অক্সাইড উৎপন্ন করতে পারে। পরীক্ষা করে দেখা যায়—

একটি অক্সাইডের 1.393g-এ 1·293g ধাতু বর্তমান,
অপর অক্সাইডের 2·173g-এ 1·882g ধাতু বর্তমান,
এবং তৃতীয় অক্সাইডের 1·712g-এ 1·552g ধাতু বর্তমান।
দেখাও যে, এই উপাত্ত গুণানুপাত সূত্রকে সমর্থন করে।

সমাধান : প্রথম অক্সাইডে 1·293g ধাতু যুক্ত হয় (1·393 – 1·293) বা 0·10g অক্সিজেনের সঙ্গে।

∴ 1g ধাতু যুক্ত হয় $\frac{0 \cdot 1}{1 \cdot 293}$ g বা 0·07734 g অক্সিজেনের সঙ্গে।

দ্বিতীয় ও তৃতীয় অক্সাইডে 1g ধাতুর সঙ্গে যুক্ত অক্সিজেনের বিভিন্ন ওজনগুলি হচ্ছে যথাক্রমে $\left(\frac{2 \cdot 173 - 1 \cdot 882}{1 \cdot 882}\right)$ বা 0·1546g এবং

$$\left(\frac{1 \cdot 712 - 1 \cdot 552}{1.552}\right) \text{ বা } \cdot 1031\text{g}$$

অতএব, পূর্বোক্ত তিনটি অক্সাইডে 1g ধাতুর সঙ্গে সংযুক্ত অক্সিজেনের বিভিন্ন ওজনের অনুপাত 0·07734 : 0·1546 : 0·103 বা 3 : 6 : 4। এটি একটি সরল অনুপাত। অতএব, গুণানুপাত সূত্র সমর্থিত হয়।

যদি কোনো মৌল, দুই বা ততোধিক ভিন্ন মৌলের সঙ্গে ভিন্ন ভিন্ন যৌগ গঠন করে তবে সেই মৌলগুলি নিজেদের মধ্যে সংযোগের ক্ষেত্রে একটি সূত্রকে মেনে চলে। সূত্রটি মিথোনুপাত সূত্র।

(4) **মিথোনুপাত সূত্র (Law of reciprocal proportion) :** যখন পরস্পরের সঙ্গে সংযোগে সক্ষম দুই বা ততোধিক মৌল ভিন্ন ভিন্ন ওজনে অন্য একটি মৌলের নির্দিষ্ট ওজনের সঙ্গে পৃথকভাবে সংযুক্ত হয় তখন, মৌলগুলি পরস্পরের মধ্যে সংযোগের ক্ষেত্রে, সেই ভিন্ন ভিন্ন ওজনের অথবা সেই ওজন-গুলির গুণিতকের অনুপাতে সংযুক্ত হয়।

উদাহরণ : (i) পরীক্ষা করে দেখা গেছে, 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিন এবং 10·24 ভাগ ওজনের ফস-ফরাসের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দুইটি পৃথক পৃথক যৌগ গঠন করে। দেখা যাচ্ছে, নির্দিষ্ট ওজনের হাইড্রোজেনের (1·008 g) সঙ্গে ক্লোরিন এবং ফসফরাসের যুক্ত হবার ক্ষমতা বিভিন্ন এবং বলা যায় যে, রাসায়নিক সংযোগের ক্ষেত্রে 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিন 10·24 ভাগ ওজনের ফসফরাসের সঙ্গে তুল্য। অতত্রব, ফসফরাস এবং ক্লোরিনের মধ্যে রাসায়নিক সংযোগ হলে উপরিউক্ত ওজনের অনুপাতেই হবে। অর্থাৎ ফসফরাস ও ক্লোরিনের যৌগে ফসফরাস ও ক্লোরিনের ওজনের অনুপাত হবে 10·24 : 35·45। এটিই মিথোনুপাত সূত্র।

(ii) ক্যালসিয়াম পৃথক পৃথক ভাবে হাইড্রোজেন ও ফ্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে ক্যালসিয়াম হাইড্রাইড ও ক্যালসিয়াম ফ্লোরাইড উৎপন্ন করে।

পরীক্ষায় দেখা যায়—CaH_2-এ 40·08 ভাগ ওজনের ক্যালসিয়াম $2 \times 1{\cdot}008$ ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়। CaF_2-এ 40·08 ভাগ ওজনের Ca যুক্ত হয় $18{\cdot}99 \times 2$ ভাগ ওজনের ফ্লোরিনের সঙ্গে। যদি হাইড্রোজেন ও ফ্লোরিন যুক্ত হয় তবে তারা $2 \times 1{\cdot}008 : 2 \times 18{\cdot}99$ বা 1·008 : 18·99 এই অনুপাতে যুক্ত হবে। HF যৌগে হাইড্রোজেন ও ফ্লোরিন উপরিউক্ত অনুপাতেই বর্তমান।

(iii) কার্বন ও অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন যথাক্রমে মিথেন (CH_4) ও জল (H_2O) উৎপন্ন করে। রাসায়নিক বিশ্লেষণে দেখা

যায়—CH_4-এ 12 ভাগ ওজনের কার্বন যুক্ত হয় $4 \times 1{\cdot}008$ ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে। জলে 16 ভাগ ওজনের অক্সিজেন $2 \times 1{\cdot}008$ ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়।

$\therefore$ জলের ক্ষেত্রে 32 ভাগ ওজনের অক্সিজেন যুক্ত হয় $4 \times 1{\cdot}008$ ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে।

এখন কার্বন ও অক্সিজেন নিজেদের মধ্যে 12 : 32 এই অনুপাতে যুক্ত হয়। CO_2 যৌগে এই অনুপাত বর্তমান।

এই সূত্রের প্রত্যক্ষ সিদ্ধান্ত হচ্ছে, প্রতিটি মৌলের ক্ষেত্রে একটি আপেক্ষিক পরিমাণ (Relative proportion) নির্ধারণ করা যায় যার অনুপাতে বা যার গুণিতকের অনুপাতে একটি মৌল অন্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত হবে। এই পরিমাণকে বলে **রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বা যোজনভার** (Chemical equivalent or combining weight)। অতএব, মিথোনুপাত সূত্রটিকে নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যায় :

বিভিন্ন মৌল পরস্পরের মধ্যে সংযোগকালে তাদের তুল্যাঙ্ক অনুপাতে বা তুল্যাঙ্কগুলির গুণিতকের অনুপাতে যুক্ত হয়। এটাই তুল্যাঙ্ক অনুপাত বা যোজনভার সূত্র।

2.3 নং গাণিতিক উদাহরণ : দেখাও যে, নিম্নলিখিত উপাত্ত মিথোনুপাত সূত্রকে সমর্থন করে :

PH_3-এ আছে $91{\cdot}1\%$P এবং $8{\cdot}9\%$H,
H_2O-এ আছে $88{\cdot}8\%$O এবং $11{\cdot}2\%$H এবং
P_4O_6-এ আছে $56{\cdot}4\%$P এবং $43{\cdot}6\%$O

সমাধান : 100 g. PH_3-এর মধ্যে দেখা যায় :

91·1 g. P যুক্ত হয় 8.9 g. H-এর সঙ্গে

$$\therefore \quad 1\text{ g. P} \;,, \;,, \; \frac{8{\cdot}9}{91{\cdot}1}$$ বা 0·0977g. H-এর সঙ্গে

100 g. P_4O_6-এর মধ্যে :

56·4 g. P যুক্ত হয় 43·6 g. O-এর সঙ্গে

$$\therefore \quad 1\text{ g. P} \;,, \;,, \; \frac{43{\cdot}6}{56{\cdot}4}$$ বা 0·7731 g. O-এর সঙ্গে

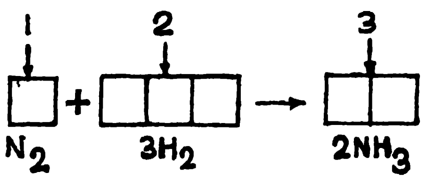
অতএব, H ও O-এর মধ্যে সংযোগকালে তাদের ওজনের অনুপাত হবে 0·0977 : 0·7731 বা 1 : 8 (প্রায়)।

জলের বিশ্লেষণে দেখা যায় $88{\cdot}8\%$ O যুক্ত হয় $11{\cdot}2\%$H-এর সঙ্গে।

অর্থাৎ H : O-এর অনুপাত হবে 11·2 : 88·8। প্রায় 1 : 8। অতএব, বলা যায় উপরিউক্ত উপাত্ত মিথোনুপাত সূত্রকে সমর্থন করে।

(5) **গ্যাসায়তন সূত্র (Law of gaseous volumes) :** যদি বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থ রাসায়নিক সংযোগে অংশ গ্রহণ করে তবে একই উষ্ণতায় ও চাপে পরিমিত বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির আয়তনের মধ্যে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থটি গ্যাসীয় হলে তার আয়তনের সঙ্গে বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির আয়তনেরও একটি সরল অনুপাত রক্ষিত হয়। অর্থাৎ গ্যাসগুলির সংযোগ আয়তনের সরল অনুপাতে ঘটে।

উদাহরণ : (i) নাইট্রোজেন গ্যাস হাইড্রোজেন গ্যাসের সঙ্গে বিক্রিয়ায় গ্যাসীয় অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। পরীক্ষা করে দেখা যায়, এক আয়তন নাইট্রোজেন তিন আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 আয়তন অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন করে। সবগুলি আয়তনই একই উষ্ণতা ও চাপে মাপা হয়। এই বিশ্লেষণ থেকে জানা যায়, বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির আয়তনের মধ্যে অনুপাত হচ্ছে—H : N=3 : 1 এবং বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত গ্যাসীয় পদার্থগুলির আয়তনের মধ্যে অনুপাত হচ্ছে—N : H : NH_3=1 : 3 : 2। নিম্নে চিত্রাকারে বিক্রিয়াটি দেখানো হচ্ছে :



1. এক আয়তন নাইট্রোজেন 2. তিন আয়তন হাইড্রোজেন 3. দুই আয়তন অ্যামোনিয়া

2. 2.4. নং চিত্র

(ii) মিথেন ও অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস। পরীক্ষায় দেখা যায় :

1 আয়তন মিথেন + 2 আয়তন অক্সিজেন=1 আয়তন CO_2+2 আয়তন জলীয়বাষ্প।

∴ মিথেন ও অক্সিজেনের আয়তনের অনুপাত=1 : 2 এবং মিথেন, অক্সিজেন, জলীয়বাষ্প ও CO_2-এর আয়তনের অনুপাত=1 : 2 : 1 : 2

2.3. পদার্থের গঠন ও ডাল্টনের পরমাণুবাদ (Constitution of matter and Dalton's Atomic Theory) : পদার্থ, অবিভাজ্য এবং

মানুষের দৃষ্টি শক্তির অগোচর অতি ক্ষুদ্র কণা বা পরমাণুর (Atom) সমবায়ে গঠিত—এই ধারণা অতি জনপ্রিয় এবং পুরাতন। হিন্দু দার্শনিক কনাদ এবং গ্রীক দার্শনিক লিউকিপ্পস ও ডেমোক্রিটস (Leukippos and Demokritos, 450 B. C.) প্রধানতঃ এই তত্ত্বের প্রবক্তা। পদার্থের উপাদান সংক্রান্ত এই পরমাণু তত্ত্বের (Atomic Theory) বহু প্রয়োগ ডাল্টনের পূর্বে হয়েছে। যেমন, জড় পদার্থের গতির ব্যাখ্যায় নিউটন (Issac Newton) এই তত্ত্বের প্রয়োগ করেছেন। গ্যাসের গতি-তত্ত্বের (Kinetic Theory of gases) ক্ষেত্রেও এই তত্ত্বকে গ্রহণ করা হয়েছে। অবশ্য কোনো ক্ষেত্রেই পরমাণুর বৈশিষ্ট্য বা ধর্মের উল্লেখ করা হয়নি। কেবল এইটুকুই বলা হয়েছে যে, পদার্থ মাত্রই পরমাণুর সমবায়ে গঠিত ; সেই পরমাণুর আকার, ভর ইত্যাদি সম্বন্ধে কিছুই বলা হয়নি। জন ডাল্টনই সর্বপ্রথম (1803 খ্রীঃ) পরমাণুর কতগুলি বৈশিষ্ট্য উল্লেখ করে রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহের ব্যাখ্যা দেন।

কোনো বৈজ্ঞানিক সূত্র প্রকৃতির আচরণের একটি সাধারণ (General) বিবৃতি মাত্র। প্রত্যক্ষ পরীক্ষালব্ধ জ্ঞান থেকে এরূপ সূত্রে উপনীত হওয়া যায়। বিশেষ (Particular) পরীক্ষালব্ধ জ্ঞান থেকে এই যে প্রকৃতির আচরণের সাধারণ নিয়ম উদ্ভাবন এই প্রক্রিয়াকে বলে **আরোহ অনুমান** (Inductive reasoning)।

ভরের নিত্যতা সূত্র এবং স্থিরানুপাত সূত্র উভয়েই পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত (Data) থেকে উদ্ভূত দুইটি সাধারণ সূত্র। এতে কেবল বলা হয়েছে— যৌগ গঠনের ক্ষেত্রে প্রকৃতি এভাবে আচরণ করে। কিন্তু কেন যৌগ গঠনের ক্ষেত্রে মৌলগুলি এরূপ স্থির অনুপাতে যুক্ত হয় এবং কেন কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের সমগ্র ভর এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের সমগ্র ভরের সমান হয়, প্রকৃতির এই আচরণের কোনো ব্যাখ্যা ঐ সূত্রদ্বয়ে নেই। পরমাণুর কতগুলি বৈশিষ্ট্য সম্বলিত নবপ্রতিষ্ঠিত পরমাণু তত্ত্বের সাহায্যে ডাল্টন এই সূত্র দুইটির ব্যাখ্যার—অর্থাৎ, প্রকৃতির এরূপ আচরণের কারণ সন্ধানের—প্রয়াস পান। কিভাবে ডাল্টন তা করেন তা বলার পূর্বে তাঁর তত্ত্বের স্বতঃসিদ্ধ বিষয়গুলি (Postulates) বিবৃত করা যাক :

পদার্থ মাত্রই কতগুলি অতিক্ষুদ্র কণার সমবায়ে গঠিত। এই কণাগুলিকে বলা হয় পরমাণু (Atom)। পরমাণুতে, ডাল্টনের মত অনুযায়ী, নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বর্তমান :

(i) **পরমাণু অবিভাজ্য এবং রাসায়নিক বিক্রিয়াকালে পরমাণুর সৃষ্টি বা ধ্বংস হয় না।** যেমন, ধাতব কপার কতকগুলি কপারের পরমাণুর সমষ্টি মাত্র। কপারের দহনে উৎপন্ন হয় কপারের অক্সাইড। আবার এই অক্সাইডকে বিজারিত করলে কপার ফিরে পাওয়া যায়। প্রথমোক্ত ও শেষোক্ত কপারের পরমাণু ভরে ও ধর্মে, অবশ্যই অভিন্ন হবে।

(ii) **প্রতিটি মৌলের পরমাণুর একটি নির্দিষ্ট ভর আছে।**
যেমন, অক্সিজেনের সকল পরমাণুর ভরই সমান।

(iii) **একই মৌলের পরমাণুগুলি সমধর্মী ও সমভরবিশিষ্ট।**

(iv) **বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি বিভিন্ন ধর্মসম্পন্ন ও বিভিন্ন ভরবিশিষ্ট।** যেমন, হাইড্রোজেনের সকল পরমাণু ধর্মে ও ভরে পরস্পরের সমান। তেমনি, নাইট্রোজেনের সকল পরমাণুও। কিন্তু একটি হাইড্রোজেন পরমাণু ধর্মে ও ভরে একটি নাইট্রোজেন পরমাণুর থেকে ভিন্ন।

(v) **রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যৌগ গঠনকালে বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি সরল অখণ্ড সংখ্যার (Integer) অনুপাতে যুক্ত হয়।** যেমন, A ও B দুইটি মৌল যদি রাসায়নিকভাবে যুক্ত হয় তাহলে A মৌলের পরমাণু B মৌলের পরমাণুর সঙ্গে সরল অখণ্ড সংখ্যার অনুপাতে যুক্ত হবে। সাধারণতঃ 1 থেকে 9-এর মধ্যে পূর্ণসংখ্যাগুলির অনুপাতকে সরল অনুপাত বলে।

জড় পদার্থের উপাদানরূপে পরমাণুর অস্তিত্ব স্বীকার করেও ডাল্টন মৌল ও যৌগের দুই রকম পরমাণুর কল্পনা করেন—মৌলের পরমাণুকে তিনি নাম দেন 'সরল পরমাণু' (Simple atom) এবং যৌগের 'পরমাণু'কে 'যৌগিক পরমাণু' (Compound atom)।

ডাল্টনের পরমাণুবাদের আলোকে রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহের ব্যাখ্যা ঃ (i) **ভরের নিত্যতা সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ** ডাল্টনের পরমাণুবাদে কল্পনা করা হয়েছে যে, পরমাণু নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট অবিভাজ্য কণা যার ধ্বংস বা সৃষ্টি সম্ভব নয়। অতএব, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার পূর্বে যতগুলি পরমাণু বর্তমান, সৃষ্টি বা ধ্বংস নেই বলে, বিক্রিয়ার শেষে ততগুলি পরমাণু অবশ্যই থাকবে। পরমাণুগুলি আবার নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট। সুতরাং, বিক্রিয়ার পূর্বে অংশ গ্রহণকারী পরমাণুগুলির সমগ্র ভর বিক্রিয়ার শেষে বর্তমান সমসংখ্যক পরমাণুর সমগ্র ভরের সমান হবে। এটাই ভরের নিত্যতা সূত্র। নিম্নে একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া দেখানো হচ্ছে ঃ

$$A+2B=AB_2,$$

এই বিক্রিয়ায় A মৌলের একটি পরমাণু B মৌলের দুইটি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে AB_2 যৌগ উৎপন্ন করে। দেখা যাচ্ছে, বিক্রিয়ার পূর্বে ও পরে প্রতিটি মৌলের পরমাণুর সংখ্যা সমান। A মৌলের প্রতিটি পরমাণুর ভর x_a ও B মৌলের প্রতিটি পরমাণুর ভর x_b হলে বিক্রিয়ার পূর্বে অংশ গ্রহণকারী পরমাণুর ভর হবে (x_a+2x_b) এবং বিক্রিয়ার পরে ভর হবে (x_a+2x_b) এই দুইটি ভর সমান। অতএব, রাসায়নিক পরিবর্তনে পরমাণুর বৈশিষ্ট্য নষ্ট হয় না।

(ii) **স্থিরানুপাত সূত্রের ব্যাখ্যা :** ডাল্টনের তত্ত্ব অনুযায়ী, যে-কোনো যৌগ বিভিন্ন পরমাণুর সমবায়ে গঠিত এবং যৌগের ধর্মাবলী গঠন-কারী পরমাণুগুলির প্রকার ও সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। তাহলে, দুইটি যৌগের ধর্ম যদি অভিন্ন হয় তবে একটিতে বিভিন্ন প্রকার পরমাণু যে অনুপাতে যুক্ত হয় অপরটিতেও একই প্রকার পরমাণুগুলি একই অনুপাতে যুক্ত হয়। আবার, নির্দিষ্ট মৌলের পরমাণুগুলি সমভরবিশিষ্ট বলে ঐ যৌগদ্বয়ে মৌলিক উপাদানগুলি একই ওজনের অনুপাতে বর্তমান থাকে। সবশেষে, যৌগদ্বয় সমধর্মী বলে তারা একই প্রকার যৌগ। অতএব, সমধর্ম-বিশিষ্ট সকল যৌগে—তারা যদি বিশুদ্ধ হয়—একই প্রকার পরমাণু একই ওজনের অনুপাতে বর্তমান থাকে। এটাই স্থিরানুপাত সূত্র।

(iii) **গুণানুপাত সূত্রের ব্যাখ্যা :** ডাল্টনের তত্ত্বের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এই যে, এর দ্বারা যেমন পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত থেকে উদ্ভূত সূত্রের তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব (যেমন, ভরের নিত্যতা ও স্থিরানুপাত সূত্রদ্বয়ের ক্ষেত্রে করা গেছে) তেমনি নূতন সূত্র সম্পর্কেও পূর্ব সংকেত দেওয়া সম্ভব। এই যে প্রক্রিয়া যাতে তত্ত্বের সাধারণ স্বতঃসিদ্ধ বিষয়কে আশ্রয় করে নূতন সূত্রের সিদ্ধান্ত করা হয় তাকে বলা হয় **অবরোহ অনুমান** (Deductive reasoning)।

ডাল্টন তাঁর তত্ত্বের সাহায্যে কিভাবে গুণানুপাত সূত্রের সিদ্ধান্ত করেন তা দেখা যাক। ডাল্টনের তত্ত্বের পঞ্চম বিবৃতিতে একথা বলা হয়েছে যে, পরমাণুগুলি সরল অখণ্ড সংখ্যার অনুপাতে সংযুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করে। এর দ্বারা তিনি বোঝাতে চেয়েছেন যে, A ও B নামে দুইটি মৌল সংযুক্ত হয়ে যদি একাধিক যৌগ গঠন করে তবে এই দুইটি মৌলের পরমাণুগুলি 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 2:2, 2:3, 2:4 ইত্যাদি সরল অনুপাতে সংযুক্ত হলেই তা সম্ভব। অর্থাৎ, A ও B মৌলদ্বয় যদি সংযুক্ত হয় তাহলে AB, AB_2, A_2B_3 ইত্যাদি যৌগের অস্তিত্বের সম্ভাবনা আছে। এখন AB, AB_2, A_2B_3

ইত্যাদিতে মৌলদ্বয়ের পারমাণবিক অনুপাত A_2B_2, A_2B_4, A_2B_6 ইত্যাদি যৌগে উক্ত মৌলদ্বয়ের পারমাণবিক অনুপাতের সমান।

আবার, প্রতিটি মৌলের পরমাণু নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট এ কল্পনাও ডাল্টন করেন। যদি ধরা যায় A মৌলের একটি পরমাণুর ভর x এবং B মৌলের পরমাণুর ভর y হয় তবে A_2B_2, A_2B_4, A_2B_6 যৌগগুলিতে যথাক্রমে

$2\times x$ ভাগ ওজনের A মৌল $2\times y$ ভাগ ওজনের B-এর সঙ্গে যুক্ত হয়
$2\times x$ „ „ A „ $4\times y$ „ „ B „ „ „ „
$2\times x$ „ „ A „ $6\times y$ „ „ B „ „ „ „

সুতরাং A মৌলের স্থির ওজনের সঙ্গে যুক্ত B মৌলের বিভিন্ন ওজনগুলির মধ্যে অনুপাত হচ্ছে—2y : 4y : 6y বা, 1 : 2 : 3

এই যুক্তি থেকেই ডাল্টন গুণানুপাত সূত্রের সিদ্ধান্ত করেন। সূত্রটি পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে।

2.4 পারমাণবিক গুরুত্ব (Atomic weight) : ডাল্টনের তত্ত্বের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ অংশ হচ্ছে, একই মৌলের পরমাণুগুলি সমভরবিশিষ্ট এই কল্পনা। এ-থেকেই পরমাণুর ভর নির্ধারণের প্রয়োজনীয়তা অনুভূত হয়। তবে পরমাণু অত্যন্ত ক্ষুদ্র এবং প্রত্যক্ষভাবে ওজন করে পরমাণুর ভর নির্ণয় দুরূহ কাজ। উদাহরণস্বরূপ, অক্সিজেনের একটি পরমাণুর ভর $2{\cdot}6\times10^{-23}$ g। সে কারণে ডাল্টন পরমাণুর **পরম** (**Absolute**) ভর নির্ণয়ের পরিবর্তে **আপেক্ষিক** (**Relative**) ভর নির্ণয়ের চেষ্টা করেন। হাইড্রোজেন সবচেয়ে হাল্কা মৌল হওয়ায় এটির একটি পরমাণুর ভরকে একক ধরে তিনি অন্যান্য মৌলের পরমাণু কতগুণ ভারী তা নির্ণয়ের চেষ্টা করেন। যেমন, জলের বিশ্লেষণে দেখা যায় যে, এতে আছে 11·17% হাইড্রোজেন এবং 88· 83% অক্সিজেন।

$$\text{সুতরাং,}\quad \frac{\text{অক্সিজেনের ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের ভর}}=\frac{88{\cdot}83\text{ g}}{11{\cdot}17\text{ g}}=\frac{7{\cdot}95}{1{\cdot}00}$$

পরীক্ষায় আরও জানা যায় যে, হাইড্রোজেনের 2টি পরমাণু অক্সিজেনের 1টি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে জল উৎপন্ন করে। অতএব,

$$\frac{\text{অক্সিজেনের 1টি পরমাণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের 2টি পরমাণুর ভর}}=\frac{7{\cdot}95}{1{\cdot}00}$$

$$\text{অথবা,}\quad \frac{\text{অক্সিজেনের 1টি পরমাণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের 1টি পরমাণুর ভর}}=\frac{2\times7{\cdot}95}{1{\cdot}00}=\frac{15{\cdot}90}{1{\cdot}00}$$

অতএব, বোঝা গেল অক্সিজেনের 1টি পরমাণুর ভর হাইড্রোজেনের 1টি পরমাণুর ভর অপেক্ষা 15·90 গুণ ভারী। এই আপেক্ষিক ভরকেই বলা হয় **পারমাণবিক গুরুত্ব** (Atomic weight)।

পারমাণবিক গুরুত্বের সংজ্ঞার্থ (Definition of atomic weight) **:**
সুবিধাজনকভাবে নির্দিষ্ট কোনো প্রমাণ মৌলের একটি পরমাণুর তুলনায় অন্য মৌলের একটি পরমাণু যতগুণ ভারী সেই সূচক সংখ্যাটিকে দ্বিতীয় মৌলের **পারমাণবিক গুরুত্ব (পাঃ গুঃ) বলে।**

পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয়ের স্কেল ঃ পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, ডাল্টন হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরকে একক ধরে একটি পারমাণবিক গুরুত্বের স্কেল উদ্ভাবন করেন। পরবর্তীকালে, প্রকৃতিতে প্রাপ্ত অক্সিজেন পরমাণুর ভরকে 16·00 একক ধরে অন্যান্য মৌলের পাঃ গুঃ নির্ণয় করা হয়। এই পরিবর্তনের কারণ হচ্ছে—(i) হাইড্রোজেন অপেক্ষা অক্সিজেন অনেক সক্রিয় ও অনেক বেশী মৌলের সঙ্গে যুক্ত হয়, (ii) অক্সিজেনের সাপেক্ষে বেশীরভাগ মৌলেরই পারমাণবিক গুরুত্ব একটি অখণ্ড সংখ্যা হয় এবং (iii) হাইড্রোজেন অত্যন্ত হাল্কা বলে পরীক্ষায় সামান্য ত্রুটি পরীক্ষাফলকে বহুগুণ ত্রুটিপূর্ণ করে। যাই হোক, অক্সিজেনের সাপেক্ষে পারমাণবিক গুরুত্বের নিম্নলিখিত সংজ্ঞার্থ উপস্থিত করা যায় ঃ প্রাকৃতিক অক্সিজেনের একটি পরমাণুর ভরকে 16·00 ধরে তার আপেক্ষিকে অন্য মৌলের একটি পরমাণু যতগুণ ভারী সেই সূচক সংখ্যাকে ঐ মৌলের **পারমাণবিক গুরুত্ব বলে।** হাইড্রোজেন স্কেলে অক্সিজেনের পাঃ গুঃ হয় 15·88। এই সংখ্যাকেই 16·00 ধরে নেওয়া হয়েছে। এজন্য অক্সিজেনের এই নূতন স্কেলে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব হয় (16/15·88) বা 1·008।

আধুনিক বিজ্ঞানের উন্নতির সঙ্গে সঙ্গে প্রমাণিত হয় যে, প্রকৃতিতে প্রাপ্ত অক্সিজেন আসলে তিনপ্রকার পরমাণুর মিশ্রণ। পরমাণুগুলি রাসায়নিক ধর্মে এক কিন্তু তাদের পারমাণবিক গুরুত্ব ভিন্ন। এরূপ বহু মৌল আছে যারা ভিন্ন ভিন্ন পারমাণবিক গুরুত্ববিশিষ্ট পরমাণুর মিশ্রণ; নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট একই প্রকার পরমাণুর সমবায়ে গঠিত নয়। যেমন, প্রকৃতিতে প্রাপ্ত অক্সিজেন 15.995, 16.9913 ও 17.991 এই তিন প্রকার পারমাণবিক গুরুত্ববিশিষ্ট পরমাণুর মিশ্রণ।

এই ঘটনাকে বলে **আইসোটোপি** (Isotopy) এবং একই রাসায়নিক ধর্মবিশিষ্ট ও বিভিন্ন পারমাণবিক গুরুত্ববিশিষ্ট পরমাণুগুলিকে

আইসোটোপ (Isotope) বলে। স্বভাবতঃই এরূপ অবস্থায় প্রাকৃতিক অক্সিজেনের পরমাণুর ভরকে 16·00 ধরা যায় না। এই অসুবিধা দূর করার জন্য বিজ্ঞানীরা কার্বন-12 (C-12) আইসোটোপের একটি পরমাণুর ভরকে 12·00 ধরে C-12 স্কেল প্রবর্তন করেন (1969 খ্রীঃ)। নিম্নে অক্সিজেন ও C-12 স্কেল দুইটির তুলনা করা হল :

মৌল	পারমাণবিক গুরুত্ব	
	অক্সিজেন স্কেল	C-12 স্কেল
ক্লোরিন	35·457	35·453
নাইট্রোজেন	14·008	14·0067
অক্সিজেন	16·000	15·9994

ডাল্টনের পরমাণুবাদের সীমাবদ্ধতা ও ত্রুটি (Limitations and errors of Dalton's Atomic Theory) : (i) ওজন অনুপাত সম্বন্ধীয় রাসায়নিক সংযোগ সূত্রগুলির ব্যাখ্যা সম্ভব হলেও এই তত্ত্বদ্বারা গে-লুস্যাকের গ্যাসায়তন সূত্রের ব্যাখ্যা সম্ভব নয় (তৃতীয় অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

(ii) মৌল ও যৌগের চরম উপাদানের কোনো পার্থক্য এই তত্ত্বে নির্দেশিত হয়নি। মৌল ও যৌগ উভয় প্রকার পদার্থের উপাদানকে পরমাণু আখ্যা দেওয়া হয়েছে।

(iii) এই তত্ত্বে পরমাণুর প্রধান বৈশিষ্ট্য তার ভর। কিন্তু ভর নির্ণয়ের কোনো পথ নির্দেশ এই তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায় না।

ডাল্টন পরমাণুগুলির তুল্যাঙ্ক অনুপাত থেকে মৌলের পরমাণুর আপেক্ষিক ভর নির্ণয়ের চেষ্টা করেন। সে-ক্ষেত্রে কোনো যৌগে বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি ঠিক কি অনুপাতে সংযুক্ত হয়, তা না জানা থাকলে ডাল্টনের পদ্ধতি ব্যবহারযোগ্য নয়। উদাহরণস্বরূপ, রাসায়নিক বিশ্লেষণে দেখা যায় যে, 8 ভাগ ওজনের অক্সিজেন 1 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে জল উৎপন্ন করে। এখন, হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর ভরকে একক ধরা হলে (ডাল্টন তাই ধরেছেন) তার সাপেক্ষে অক্সিজেনের একটি পরমাণুর ভর হয় 8। অতএব, জলের অণুর সংকেত দাঁড়ায় HO।

বাস্তবে জলের অণুর সংকেত H_2O এবং অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর 16·00।

(iv) পরমাণু অবিভাজ্য, পরমাণুবাদের এই কল্পনা ঠিক নয়। পদার্থ-বিজ্ঞানীরা আধুনিক কালে পরমাণুর বিভাজনে সক্ষম হয়েছেন। দেখা গেছে পদার্থের চরম উপাদান পরমাণু নয়। পরমাণু ইলেকট্রন (ঋণাত্মক তড়িৎ-আধানযুক্ত), প্রোটন (ধনাত্মক তড়িৎ-আধানযুক্ত) ও নিউট্রন (তড়িৎ-নিরপেক্ষ) নামে তিন প্রকার মৌলিক কণার সমবায়ে গঠিত।

(v) একই মৌলের পরমাণুগুলি সমভরবিশিষ্ট এ ধারণাও ঠিক নয়। বহু মৌলই আইসোটোপের মিশ্রণ।

(vi) ডাল্টন পরমাণু অবিভাজ্য বলে কল্পনা করেছিলেন এবং রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণু বাস্তবিক অবিভাজ্য থেকেই অংশ গ্রহণ করে। কিন্তু পরমাণুকে অবিভাজ্য কল্পনা করে নিলে তারা কেমন করে পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়া করে তা ব্যাখ্যা করা যায় না। বস্তুতঃ পরমাণুগুলি পরস্পরের সংস্পর্শে এলে অনেক সময় তাদের অভ্যন্তরস্থ ইলেকট্রনের পুনর্বিন্যাস ঘটে। ফলে তারা যুক্ত হয়। এইভাবে পরমাণুগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে। ডাল্টনের পরমাণুবাদে এসব কথার কোনো উল্লেখ নেই।

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ ঃ

1. আরোহ অনুমান কাকে বলে? স্থিরানুপাত সূত্রের আবিষ্কারে আরোহ অনুমানের ভূমিকা কি? এক টুকরা কয়লাকে দহন করলে তার ওজন হ্রাস পায়—ঘটনাটি কি ভরের নিত্যতা সূত্রের বিরুদ্ধাচরণ করে?

2. সংযুতিমিতিয় ও অসংযুতিমিতিয় যৌগ কাকে বলে? অসংযুতিমিতিয় যৌগগুলি স্থিরানুপাত সূত্র মেনে চলে না কেন? মিশ্র পদার্থ কি স্থিরানুপাত সূত্র মেনে চলে?

3. মিথোনুপাত সূত্রটি কি? এটিকে তুল্যাংক অনুপাত সূত্র বলা হয় কেন? ডাল্টনের পরমাণুবাদের আলোকে সূত্রটি ব্যাখ্যা কর।

4. গুণানুপাত সূত্র একটি প্রাকৃতিক সূত্র—ব্যাখ্যা কর। কিভাবে ডাল্টন তাঁর পারমাণুবাদ থেকে অবরোহ অনুমানের দ্বারা এই সূত্র উপপাদন করেন?

5. রাসায়নিক সংযোগ সূত্রগুলি বর্ণনা কর এবং প্রতি ক্ষেত্রে দুইটি করে উদাহরণ দাও। ডাল্টনের পরমাণুবাদের সঙ্গে এদের কি সম্পর্ক?

6. টীকা লেখ ঃ তুল্যাংক, পারমাণবিক গুরুত্ব, আরোহ এবং অবরোহ অনুমান, গে-লুস্যাকের গ্যাসায়তন সূত্র, ভরের নিত্যতা সূত্র।

7. $H_2+Cl_2=2HCl$—এই সমীকরণটির সঙ্গে যে রাসায়নিক সূত্রটি জড়িত তা বর্ণনা কর। পরীক্ষাদ্বারা সূত্রটির সত্যতা নিরূপণ কর। ডাল্টনের পরমাণুবাদ কিভাবে সূত্রটি ব্যাখ্যা করে?

8. ডাল্টনের পরমাণুবাদ কি? এই তত্ত্বে পরমাণুর কোন বৈশিষ্ট্যটি সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ? ডাল্টনের পরমাণুবাদের সীমাবদ্ধতা ও ত্রুটিগুলি কি?

9. ডাল্টনের পরমাণুবাদে পরমাণুকে অবিভাজ্য বলা হয়েছে—আলোচনা কর। পরমাণু রাসায়নিক বিক্রিয়ার একক—ব্যাখ্যা কর।

10. কখনও কখন একই মৌলরাজি যুক্ত হয়ে ভিন্ন ভিন্ন যৌগ গঠন করে এই ঘটনা কি স্থিরানুপাত সূত্রের পরিপন্থী?

(B) গাণিতিক

1. তিনটি উপায়ে সিলভার ক্লোরাইড উৎপন্ন করে বিশ্লেষণ করে দেখা গেল,

প্রথম ক্ষেত্রে 91·462 g সিলভার 121·4993 g সিলভার ক্লোরাইড,
দ্বিতীয় ,, 108·549 g ,, 144·2070 g ,, ,, এবং
তৃতীয় ,, 698·674 g ,, 92·8745 ,,
উৎপন্ন করে। এই উপাত্ত কি স্থিরানুপাত সূত্র সম্মত?

2. অ্যামোনিয়াতে 17·76% হাইড্রোজেন আছে। 3·77 g. হাইড্রোজেন সম্পূর্ণরূপে 26·23g নাইট্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় 30 g হাইড্রাজিন (N_2H_4) উৎপন্ন করে। এই পরীক্ষালব্ধ ফল গুণানুপাত সূত্রকে সমর্থন করে কি?

3. 1·6235 g ফেরিক ক্লোরাইডকে স্ট্যানাস ক্লোরাইডের দ্বারা বিজারিত করলে 1·269 g ফেরাস ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। উভয় যৌগেই 0·56 g লোহা আছে। এই উপাত্ত যে গুণানুপাত সূত্রকে সমর্থন করে তা দেখাও।

4. একটি যৌগে ওজন হিসাবে শতকরা 75 ভাগ কার্বন এবং 25 ভাগ হাইড্রোজেন আছে। অপর একটি যৌগে হাইড্রোজেন আছে 11·11 % এবং অক্সিজেন 88·89%। কার্বন ও অক্সিজেন যদি যুক্ত হয় তবে তারা কি অনুপাতে যুক্ত হবে?

5. 0·46g ম্যাগনেসিয়াম দহনের ফলে 0·77g ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইড উৎপন্ন করে। আবার 0·82g ম্যাগনিসিয়াম অ্যাসিডের দ্রবণ থেকে 760 mm চাপে এবং 0^oC উষ্ণতায় 760ml হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। 760mm চাপে ও 0^oC উষ্ণতায় প্রতি মিলিলিটার হাইড্রোজোনের ওজন 0·00009g। উপরিউক্ত ফলগুলি কোন রাসায়নিক সংযোগ সূত্রকে প্রকাশ করে?

তৃতীয় অধ্যায়

অণু ও অ্যাভোগাড্রোর সূত্র

(Molecules & Avogadro's law)

3.1 সূচনা (Introduction) : ডালটনের সময়ে মৌলিক বা যৌগিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা যাতে সেই পদার্থের পরিচয় অক্ষুণ্ণ থাকে তাকে পরমাণু নাম দেওয়া হয়। মৌলিক পদার্থের এইরূপ কণাকে **সরল পরমাণু** এবং যৌগিক পদার্থের এইরূপ কণাকে **যৌগিক পরমাণু** বলা প্রচলিত ছিল।

1811 খ্রীষ্টাব্দে অ্যামিদিও অ্যাভোগাড্রো নামে একজন ইতালীয় বিজ্ঞানী প্রথম জানালেন যে, পরমাণু ছাড়াও-অণু নামে পদার্থের আর এক ধরনের ক্ষুদ্র কণার কল্পনা আমাদের করতে হবে। তা না হলে পদার্থের গঠন সম্পর্কে এবং গ্যাসীয় পদার্থের আচরণ সম্পর্কে ধারণা অস্পষ্ট থেকে যায়।

3.2 অণুর ধারণা এবং পদার্থের গঠন (Concept of molecule and constitution of matter) : অণু নামে এই নতুন কণার কল্পনার সঙ্গে সঙ্গে ডালটনের পরমাণুবাদের পরিবর্তন প্রয়োজনীয় হয়ে দেখা দিল। পরিবর্তিত পরমাণুবাদের মূল কথা হল :

(i) যৌগিক বা মৌলিক যে-কোনো পদার্থই স্বাধীন সত্তাবিশিষ্ট ঐ পদার্থের ধর্মসম্পন্ন অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার দ্বারা গঠিত। এই কণাগুলির নাম অণু। কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ পদার্থের ভর বলতে ঐ পরিমাণ পদার্থে যতগুলি অণু আছে তার মোট ভরকে বোঝায়।

(ii) একই পদার্থের বিভিন্ন অণু ওজনে ও ধর্মে সমান।

(iii) বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলি ওজনে ও ধর্মে ভিন্ন। সুতরাং সাধারণভাবে কোনো পদার্থের ধর্ম বলতে তার অণুর ধর্মকে বোঝায়।

(iv) মৌলিক পদার্থের অণু এক বা একাধিক একই প্রকারের পরমাণুর সংযোগে গঠিত। একাধিক পরমাণুর সংযোগে গঠিত মৌলিক পদার্থের **অণু বিভাজ্য** এবং তা বিভাজনে ঐ মৌলের পরমাণুতে পরিণত হয়। পরমাণু অবিভাজ্য। তাই **এক-পারমাণবিক অণুও অবিভাজ্য**। সাধারণভাবে ধরে নেওয়া হয় পরমাণুর কোনো স্বাধীন সত্তা নেই, কিন্তু এক-পারমাণবিক অণুর তা আছে। এক্ষেত্রে পরমাণু ও অণু অভিন্ন বলে

পরমাণুটির স্বাধীন সত্তা আছে। পরমাণু রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে। একাধিক পরমাণুর সংযোগে গঠিত মৌলিক পদার্থের অণুগুলি প্রথমে সেই মৌলের পরমাণুতে বিয়োজিত হয় এবং এই পরমাণুগুলিই সরল সাংখ্যিক অনুপাতে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে।

(v) যৌগিক পদার্থের অণু বিভিন্ন প্রকারের একাধিক পরমাণুর সমন্বয়ে গঠিত। যৌগিক পদার্থের অণুকে তার আরও ক্ষুদ্রতর কণায় বিভাজন সম্ভব নয়। যৌগিক অণুকে বিভাজিত করলে তা মৌলিক উপাদানগুলির পরমাণুতে বিয়োজিত হয়। এই পরমাণুগুলির ধর্ম মূল যৌগের ধর্মের থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন।

অ্যাভোগাড্রোর অণুর কল্পনা বিজ্ঞানে সাদরে গৃহীত হয়েছে। অণুর সম্বন্ধে সামান্য কিছু তথ্য নীচে আলোচিত হল।

অণুগুলি অতীব ক্ষুদ্র কণা। এগুলি গোলকাকৃতি ধরা হয় এবং এগুলির ব্যাস সাধারণতঃ 1×10^{-8}cm থেকে 3×10^{-8}cm-এর মতো হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের অণুগুলির মধ্যে এক প্রকার আকর্ষণ-বল কাজ করে ফলে অণুগুলি বিভিন্ন সজ্জায় সজ্জিত থাকে। এই আকর্ষণ-বলকে **সংসক্তি বল** (Cohesive force) বলে। কঠিন পদার্থের মধ্যে এই বল অত্যন্ত প্রবল। তরল পদার্থের মধ্যে এই বল অপেক্ষাকৃত কম। গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে সংসক্তি বল নেই বল্লেই চলে।

কঠিন পদার্থে অণুগুলি সুনির্দিষ্ট সজ্জায় সজ্জিত থাকে। পদার্থের তরল অবস্থায় অণুগুলির এই সুনির্দিষ্ট সজ্জাটি বিকৃত হয়। এই সজ্জায় বিভিন্ন অণুগুলির মাঝে শূন্যস্থান থাকে। এই শূন্যস্থানকে **আন্তরাণবিক স্থান** (Intermolecular space) বলে। অণুর আয়তন এবং সজ্জার ধরনের উপর আন্তরাণবিক স্থানের আয়তন নির্ভর করে। তরল অবস্থায় এই আন্তরাণবিক স্থান পদার্থের কঠিন অবস্থার তুলনায় সাধারণতঃ বেশী হয়। পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থায় অণুগুলির বিশেষ সজ্জা ভেঙ্গে যায় এবং অণুগুলি প্রচণ্ড বেগে ইতস্ততঃ ছোটাছুটি করতে থাকে ফলে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন তার কঠিন বা তরল অবস্থার আয়তনের থেকে অনেক বেশী এবং অণুগুলির মোট আয়তন গ্যাসটির আয়তনের তুলনায় নগণ্য।

অণুগুলি গতিশীল। কঠিন পদার্থের মধ্যে সাধারণতঃ কম্পন-গতি (Vibrational motion) পরিলক্ষিত হয়। কঠিন পদার্থের মধ্যে প্রত্যেকটি অণু এক একটি নির্দিষ্ট স্থানে কেবল ক্রমাগত কম্পিত হতে থাকে। তরল পদার্থের মধ্যে অণুগুলির কম্পন-গতি, ঘূর্ণন-গতি (Rotational motion)

এবং স্থানান্তর-গতি (Translational motion) অল্প বিস্তর দেখা যায়। গ্যাসীয় অবস্থায় অণুগুলির মধ্যে এই তিন প্রকারের গতিই যথেষ্ট বেশী।

উষ্ণতা ও চাপের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন হয়। বস্তুতঃ অণুগুলির মধ্যে কেবল শূন্যস্থানের পরিমাণ বাড়ে বা কমে, কিন্তু অণুগুলির আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না। এই কারণে বার্জেলিয়াস তাঁর প্রকল্পে (3.3 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) এবং অ্যাভোগাড্রো তাঁর সূত্রে (3.4 নং অনুচ্ছে ষ্টব্য) বিভিন্ন গ্যাসের সমান আয়তন পরিমাপের জন্য সমান উষ্ণতা ও চাপের উল্লেখ করেছেন।

3.3 অ্যাভোগাড্রোর অণুর কল্পনার সূত্রপাত (The origin of Avogadro's thinking on molecules) : ডাল্টনের পরমাণুবাদ আবিষ্কারের পর গে-লুস্যাক গ্যাসীয় পদার্থ নিয়ে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন এবং দুইটি ঘটনা আবিষ্কার করেন। তার একটি হল আগের অধ্যায়ে আলোচিত গ্যাস-আয়তন সূত্র এবং অন্যটি হল উষ্ণতা ও চাপের সমান পরিবর্তনে গ্যাসগুলির একই রকম আচরণ প্রদর্শন। **বার্জেলিয়াস** নামে এক বিজ্ঞানী ভাবলেন যে, মৌলিক গ্যাসের ক্ষেত্রে গে-লুস্যাকের গ্যাস-আয়তন সূত্র এবং ডাল্টনের পরমাণুবাদের মধ্যে একটি সম্পর্ক খুঁজে বার করা যেতে পারে। তাঁর যুক্তি হল :

(i) গে-লুস্যাকের গ্যাস আয়তন সূত্র থেকে বলা যায় যে, নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে মৌলিক গ্যাসগুলি নিজেদের আয়তনের সরল অনুপাতে বিক্রিয়া করে যৌগিক গ্যাস উৎপন্ন করে।

(ii) ডাল্টনের পরমাণুবাদ থেকে বলা যায় যে, একাধিক মৌলিক গ্যাসের পরমাণু তাদের সংখ্যার সরল অনুপাতে বিক্রিয়া করে যৌগিক গ্যাসের যৌগিক পরমাণু তৈরী করে। সুতরাং মৌলিক গ্যাসগুলি বিক্রিয়া করে আয়তন ও পরমাণু-সংখ্যার, উভয়েরই, সরল অনুপাতে। অতএব, নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে যে-কোনো মৌলিক গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে তার মধ্যস্থিত পরমাণুর সংখ্যা অবশ্যই সমানুপাতিক, অর্থাৎ $v \propto n$; যেখানে নির্দিষ্ট চাপে এবং উষ্ণতায় কোনো মৌলিক গ্যাসের আয়তন v এবং v আয়তন গ্যাসে পরমাণুর সংখ্যা n; আবার, সমান উষ্ণতা ও চাপে সমআয়তনের গ্যাসগুলি সম আচরণসম্পন্ন বলে বার্জেলিয়াসের মতে : সমান উষ্ণতা ও চাপে সমান আয়তনের মৌলিক গ্যাসগুলিতে সমান সংখ্যায় পরমাণু থাকে। এটিকে **বার্জেলিয়াসের প্রকল্প** বলে। কিন্তু এই প্রকল্প ভুল।

পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, সমান উষ্ণতা ও চাপে এক আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাস এক আয়তন ক্লোরিন গ্যাসের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দুই আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

ধরা যাক এক আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসে 'n' সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। সুতরাং, বার্জেলিয়াসের প্রকল্প অনুসারে একই উষ্ণতায় ও চাপে এক আয়তন ক্লোরিন গ্যাসে 'n' সংখ্যক ক্লোরিন পরমাণু এবং দুই আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসে '2n' সংখ্যক হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের যৌগিক পরমাণু থাকে। অতএব, n সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হয় n সংখ্যক ক্লোরিন পরমাণুর সঙ্গে এবং তৈরী করে 2n সংখ্যক হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের যৌগিক পরমাণু। বা, 1-টি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হয় 1-টি ক্লোরিন পরমাণুর সঙ্গে এবং 2-টি হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের যৌগিক পরমাণু তৈরী হয়। বা, $\frac{1}{2}$ পরমাণু হাইড্রোজেন যুক্ত হয় $\frac{1}{2}$ পরমাণু ক্লোরিনের সঙ্গে এবং 1 যৌগিক পরমাণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী করে। এখন, এক যৌগিক পরমাণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে কমপক্ষে হাইড্রোজেনের একটি পরমাণু এবং ক্লোরিনের একটি পরমাণু থাকতে পারে। কারণ পরমাণু অবিভাজ্য। কিন্তু বার্জেলিয়াসের প্রকল্প প্রয়োগ করে দেখা যাচ্ছে যে, পরমাণু বিভাজ্য। আবার, এই প্রকল্পের ভিত্তি হল ডাল্টনের পরমাণুবাদ যার বক্তব্য হল পরমাণু অবিভাজ্য। অতএব, এই প্রকল্প ভুল।

অ্যাভোগাড্রোর মতে সমান উষ্ণতা ও চাপে সম আয়তনের মৌলিক গ্যাসগুলিতে সমান সংখ্যক ক্ষুদ্রতম কণা থাকার কথা যে বার্জেলিয়াস বলেছেন তা ঠিক। কিন্তু সেই কণা অবিভাজ্য কণা অর্থাৎ পরমাণু না হয়ে অন্য কোনো কণা হবে। এই নতুন কণাটি অবশ্যই বিভাজ্য হবে। তাই তিনি বিভাজ্য স্বাধীন সত্তাবিশিষ্ট ক্ষুদ্রতম কণা বা অণুর কল্পনা করলেন এবং বার্জেলিয়াসের প্রকল্পকে পরিবর্তিত করে একটি প্রকল্প দিলেন যেটি অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প বলে পরিচিত। পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে এই প্রকল্প সত্য বলে প্রমাণিত হয়েছে। তাই এখন অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্পকে অ্যাভোগাড্রোর সূত্র বলা হয়।

3.4 অ্যাভোগাড্রোর সূত্র (Avogadro's law) : সমান উষ্ণতা ও চাপে সমান আয়তনের গ্যাসীয় পদার্থে সমান সংখ্যায় অণু থাকে। ধরা যাক P চাপে t°C উষ্ণতায় Vcc নাইট্রোজেন গ্যাসে 'n' সংখ্যক নাইট্রোজেন অণু আছে। এই সূত্রানুসারে P চাপে এবং

$t^{\circ}C$ উষ্ণতায় Vcc অক্সিজেন গ্যাসেও 'n' সংখ্যক অক্সিজেন অণু থাকবে। অনুরূপে, ঐ একই চাপে ও উষ্ণতায় Vcc যে-কোনো গ্যাসে, মৌলিক অথবা যৌগিক, ঐ 'n' সংখ্যক অণু থাকে। অর্থাৎ যে-কোনো গ্যাসের উষ্ণতা, চাপ ও আয়তন নির্দিষ্ট থাকলে ঐ আয়তনে গ্যাসটির অণুর সংখ্যাও নির্দিষ্ট।

পরীক্ষায় দেখা গেছে যে, একটি নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় এক আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাস এক আয়তন ক্লোরিন গ্যাসের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দুই আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

ধরা যাক এক আয়তন হাইড্রোজেনে 'n' সংখ্যক হাইড্রোজেন অণু আছে। সুতরাং, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুসারে এক আয়তন ক্লোরিন গ্যাসে 'n' সংখ্যক ক্লোরিন অণু এবং দুই আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে '2n' সংখ্যক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অণু থাকবে—যদি প্রত্যেকটি গ্যাসের আয়তন সমান উষ্ণতা ও চাপে মাপা হয়। সুতারাং, n সংখ্যক হাইড্রোজেন অণু যুক্ত হয় n সংখ্যক ক্লোরিন অণুর সঙ্গে এবং 2n সংখ্যক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অণু তৈরী করে।

বা, 1 অণু হাইড্রোজেন 1 অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড দেয়।

বা, $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেন $\frac{1}{2}$ অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড দেয়।

কিন্তু অ্যাভোগাড্রোর মতে অণু বিভাজ্য। সুতরাং, তাঁর সূত্র পরীক্ষালব্ধ ফলাফলে প্রয়োগ করে যে উপপাদন (.Deduction) তৈরী হল তা ডাল্টনের পরমাণুবাদের বিরোধী নয়।

3.5 আণবিক গুরুত্ব (Molecular weight) : অণুর অস্তিত্ব যখন স্বীকৃত এবং এটি যখন পদার্থ-কণা, এর ভর বা ওজন আছে। কিন্তু অতীব ক্ষুদ্র কণা বলে অণুর পরম ওজন, গ্রামের এককেই হোক আর পাউণ্ডের এককেই হোক, নিভু'ল ভাবে পরিমাপ করা যেমন শক্ত, মনে রাখাও তেমনি কঠিন। তাই পরমাণুর মতো অণুরও আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা হয়। অতীতে হাইড্রোজেন পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজনকে 1 পারমাণবিক ভর একক (1 amu) ধরে বিভিন্ন মৌলের ও যৌগের অণুর আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা হতো (H-Scale)। কিছুকাল আগে O-16 পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজনকে 16 amu ধরে ঐ এককের আপেক্ষিকে বিভিন্ন অণুর আপেক্ষিক গুরুত্ব

মাপা চলতো (O-16 Scale)। এখন C-12 পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজনকে 12 amu ধরে ঐ এককের আপেক্ষিকে যে-কোনো অণুর গুরুত্ব মাপা হয়। এটিকে C-12 স্কেল বলে। এই স্কেলে 1 amu$=1{\cdot}660\times 10^{-24}$g। সুতরাং, কোনো পদার্থের **আণবিক গুরুত্ব হল : তার একটি, অণুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বা ওজন। কোনো যৌগের বা মৌলের একটি অণু C-12 পরমাণুর ওজনের $\frac{1}{12}$ অংশের তুলনায় যতগুণ ভারী সেই সংখ্যাটিই হল মৌলটির বা যৌগটির আণবিক গুরুত্বের পরিমাপ**। ধরা যাক কোনো মৌলের একটি অণুর ওজন x g এবং C-12 পরমাণুর ওজন y g,

সুতরাং, ^{12}C স্কেলে 1 amu (সংক্ষেপে u) $=\frac{y}{12}$ g

তাহলে, অণুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব$=\frac{xg}{y/12g}$ বা $\frac{12x}{y}$

$\therefore$ আণবিক গুরুত্ব$=\dfrac{\text{মৌলের বা যৌগের একটি অণুর ভর বা ওজন}}{\text{C-12 পরমাণুর ভর বা ওজনের } \frac{1}{12} \text{ অংশ}}$

আণবিক গুরুত্ব দুইটি ওজনের অনুপাত হওয়ায় এটি একটি সংখ্যা মাত্র। কার্বন ডাইঅক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব 44—একথার অর্থ হল—কার্বন ডাইঅক্সাইডের একটি অণু C-12 পরমাণুর ওজনের $\frac{1}{12}$ অংশের তুলনায় 44 গুণ ভারী।

3.1 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ হাইড্রোজেনের একটি অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন $3{\cdot}3468\times 10^{-24}$g হলে হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব কত ?

সমাধান ঃ C-12 পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজনের $\frac{1}{12}$ অংশ (1 amu)$=1{\cdot}660\times 10^{-24}$g।

অতএব, আণবিক গুরুত্বের সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব$=\dfrac{3{\cdot}3468\times 10^{-24}g}{1{\cdot}660\times 10^{-24}g}$ বা 2·016।

আণবিক গুরুত্বকে গ্রাম হিসাবে প্রকাশ করলে তাকে **গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব** বলে। হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের আণবিক গুরুত্ব 36·461g। সুতরাং, 36·461g হল হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব বা 1 গ্রাম-অণু। 2 গ্রাম-অণু HCl মানে $2\times 36{\cdot}461$g বা 72·922g HCl। গ্রাম-আণবিক গুরুত্বকে সংক্ষেপে **গ্রাম-অণু** বলে। পাউণ্ড এককেও আণবিক গুরুত্ব প্রকাশিত হতে পারে। তখন তাকে **পাউণ্ড-আণবিক গুরুত্ব** বলে।

কোনো মৌলের বা যৌগের অণুর মধ্যে যতগুলি পরমাণু আছে তাদের প্রত্যেকের পারমাণবিক গুরুত্ব যোগ করলেই সেই মৌল বা যৌগের আণবিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। যেমন, H_2SO_4-এর আণবিক গুরুত্ব হবে

$$2\times1\cdot008+1\times32\cdot06+4\times15\cdot9994=98\cdot072 \text{ amu}$$

আণবিক গুরুত্বকে amu বা u-এককে প্রকাশ করা চলে।

3.2 নং গাণিতিক উদাহরণ: CO_2-এর আণবিক গুরুত্ব কত ?

সমাধান: কার্বন ও অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 12·011 এবং 15·9994। অতএব,

CO_2-এর আণবিক গুরুত্ব $=12\cdot011+2\times15\cdot9994$ বা 44·098u

আণবিক গুরুত্ব কথাটি খুব স্থূলভাবে ব্যবহৃত হয়। যেমন, ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব বলা ভুল। ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের অণুতে 4টি ফসফরাসের এবং 10টি অক্সিজেনের পরমাণু আছে। ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের যা আমরা নির্ণয় করি তা 2টি ফসফরাস পরমাণুর এবং 5টি অক্সিজেন পরমাণুর গুরুত্বের যোগফল। তাই P_2O_5-এর এটি আণবিক গুরুত্ব নয় **সংকেত-গুরুত্ব** (Formula weight)। অণুর প্রকৃত সংযুতি জানা থাকলে (4.3 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) তবেই আণবিক গুরুত্ব কথাটি ব্যবহার করা চলে। তা জানা না থাকলে পদার্থের সংকেত-গুরুত্ব বলাই ভাল। আণবিক গুরুত্বের মতোই সংকেত-গুরুত্ব গণনা করতে হয়। সোডিয়াম ক্লোরাইডের সংকেত-একক (Formula unit; 4.3 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) হল NaCl। সুতরাং, এটির সংকেত-গুরুত্ব (23+35·5) বা, 58·5; যেখানে Na এবং Cl-এর পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 23 এবং 35·5।

এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের NaCl-এর অর্থ 58·5g NaCl।

3.6 অ্যাভোগাড্রোর সূত্রের সীমাবদ্ধতা ও গুরুত্ব (Limitation and importance of Avogadro's law): এই সূত্রে নির্দিষ্ট চাপে ও উষ্ণতায় নির্দিষ্ট আয়তন গ্যাসে তার কতগুলি অণু থাকে তা বলা নেই। এটিই সূত্রটির সীমাবদ্ধতা।

অ্যাভোগাড্রোর সূত্রের গুরুত্ব এই যে, এটি প্রয়োগ করে গ্যাসীয় পদার্থের অনেক তথ্য আমরা জানতে পারি। যেমন,

(i) মৌলিক গ্যাস অণুর পারমাণবিকতা (Atomicity),

(ii) গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক গুরুত্বের সঙ্গে তার বাষ্পীয় ঘনত্বের সম্পর্ক,

(iii) N. T. P-তে গ্যাসীয় পদার্থের 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের আয়তন, অর্থাৎ কোনো গ্যাসের ওজনের সঙ্গে তার আয়তনের সম্পর্ক,

(iv) গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত এবং

(v) বাষ্পীয় ঘনত্বের সাহায্যে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব।

(i) মৌলিক গ্যাস অণুর পারমাণবিকতা নির্ণয়ঃ কোনো মৌলিক গ্যাসের একটি অণু, ঐ গ্যাসের যতগুলি পরমাণু দিয়ে গঠিত, সেই সংখ্যাকে অণুটির **পারমাণবিকতা** (Atomicity) বলে।

সাধারণভাবে, যে মৌলিক গ্যাস অণুর পারমাণবিকতা নির্ণয় করা হয়, সেই গ্যাসের সঙ্গে অন্য মৌলিক গ্যাসের রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটিয়ে একটি যৌগিক গ্যাস তৈরী করা হয়। এখন বিক্রিয়াশীল ও বিক্রিয়ালব্ধ গ্যাসগুলির আয়তন সমান উষ্ণতা ও চাপে পরিমাপ করে গ্যাসগুলির মধ্যে আয়তনগত সম্পর্ক স্থাপন করা হয়। এই আয়তনভিত্তিক সম্পর্কে অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগ করে পরীক্ষণীয় গ্যাস অণুটির ভিতরে সেই গ্যাসের ন্যূনতম কতগুলি পরমাণু থাকতে পারে তা নির্ণয় করা হয়। আবার বিক্রিয়ালব্ধ যৌগিক গ্যাসটির একটি অণুতে পরীক্ষণীয় পদার্থটির কতগুলি পরমাণু আছে তা জেনে ঐ মৌলিক গ্যাস অণুর পারমাণবিকতা নিশ্চিতভাবে নির্ণয় করা যায়।

যেমন, হাইড্রোজেন অণুর পারমাণবিকতা নির্ণয়ের জন্য হাইড্রোজেন গ্যাস ও ক্লোরিন গ্যাসকে সূর্যালোকে রেখে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস তৈরী করা হয়।

সমান উষ্ণতা ও চাপে এই গ্যাসগুলির আয়তন পরিমাপ করে দেখা গেছে যে, 1 আয়তন হাইড্রোজেন যুক্ত হয় 1 আয়তন ক্লোরিনের সঙ্গে এবং 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী হয়।

ধরা যাক 1 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসে 'n' সংখ্যক অণু আছে। সুতরাং, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী 1 আয়তন ক্লোরিনে 'n' অণু এবং 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে '2n' অণু আছে। অতএব,

n অণু হাইড্রোজেন n অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2n অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী করে।

বা, 1 অণু হাইড্রোজেন 1 অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী করে।

বা, 1/2 অণু হাইড্রোজেন 1/2 অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী করে।

এখন 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড কমপক্ষে 1 পরমাণু হাইড্রোজেন এবং 1 পরমাণু ক্লোরিন নিয়ে গঠিত। কারণ পরমাণু অবিভাজ্য। সুতরাং, $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেনে কমপক্ষে হাইড্রোজেনের 1টি পরমাণু আছে এবং $\frac{1}{2}$ অণু ক্লোরিনে কমপক্ষে 1টি ক্লোরিন পরমাণু আছে। অর্থাৎ হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন উভয় অণুর প্রত্যেকেই কমপক্ষে দুই ভাগে বিভাজ্য। সুতরাং, হাইড্রোজেন অণু ও ক্লোরিন অণুর পারমাণবিকতা ন্যূনতম দুই।

আবার, কোনো অ্যাসিডে যতগুলি প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে, ততরকম লবণ সেই অ্যাসিড থেকে পাওয়া যায়। যেমন, সালফিউরিক অ্যাসিডে দুটি প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু আছে, তাই সালফিউরিক অ্যাসিড দুই রকম লবণ উৎপন্ন করে—(i) $NaHSO_4$ (অ্যাসিড-লবণ) ও (ii) Na_2SO_4 (প্রশম-লবণ)।

হাইড্রোজেন ক্লোরাইড জলে দ্রবীভূত হয় এবং হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এই হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ধাতুর সঙ্গে মাত্র এক রকম লবণ, প্রশম-লবণ, উৎপন্ন করে। অর্থাৎ, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের অণুতে একটি মাত্র প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। সুতরাং, লেখা যায় যে,

$\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেন $\frac{1}{2}$ অণু ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের এই হাইড্রোজেন পরমাণুটি নিশ্চয় $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেন থেকে এসেছে। অতএব, $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেনে 1টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে।

অর্থাৎ, 1 অণু হাইড্রোজেনে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। সুতরাং, নিশ্চিতভাবে বলা যায় যে, হাইড্রোজেন অণুর পারমাণবিকতা 2।

এইভাবে বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন ক্লোরিন, ফ্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিন প্রভৃতি গ্যাস অণুর পারমাণবিকতা দুই। হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন প্রভৃতি গ্যাসের পারমাণবিকতা এক।

(ii) গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক গুরুত্বের সঙ্গে তার বাষ্পীয় ঘনত্বের সম্পর্ক : 1cc আয়তনের যে-কোনো পদার্থের গ্রাম-এককে ভরকে তার **ঘনত্ব** বলে। 2cc সালফিউরিক অ্যাসিডের ওজন যদি 3·68g হয় তাহলে অ্যাসিডটির ঘনত্ব=1·84g/cc।

3.3 নং গাণিতিক উদাহরণ : 1 *l* অক্সিজেনের (S. T. P-তে) ওজন 1·43g। S. T. P-তে এই অক্সিজেনের ঘনত্ব কত ?

সমাধান: S. T. P-তে অক্সিজেনের নির্ণেয় ঘনত্ব $=\frac{1\cdot43g}{1000\ cc}$

বা 0·00143g/cc

কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের ওজন এবং একই উষ্ণতায় ও চাপে মাপা সমান আয়তনের হাইড্রোজেন গ্যাসের ওজনের অনুপাতকে সেই গ্যাসের **আপেক্ষিক ঘনত্ব** (Relative density) বা **বাষ্পীয় ঘনত্ব** (Vapour density) বলে। হাইড্রোজেন গ্যাসের পরিবর্তে অন্য যে-কোনো গ্যাসের আপেক্ষিকে গ্যাসীয় পদার্থের বাষ্পীয় ঘনত্ব মাপা যায়। সুতরাং, বাষ্পীয় ঘনত্ব

$$=\frac{\text{1 আয়তন কোনো গ্যাসের ওজন}}{\text{সমান চাপ ও উষ্ণতায় 1 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসের ওজন}}$$

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও চাপে কোনো গ্যাসের g/cc এককে প্রকাশিত ঘনত্বকে ঐ উষ্ণতায় ও চাপে প্রকাশিত হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব দিয়ে ভাগ করলে গ্যাসটির বাষ্পীয় ঘনত্ব পাওয়া যায়। S. T. P-তে কোনো গ্যাসের ঘনত্বকে 0·00009g/cc দিয়ে ভাগ করলে গ্যাসটির S. T. P-তে বাষ্পীয় ঘনত্ব পাওয়া যায়। কারণ S. T. P-তে হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 0·00009g/cc

3.4 নং গাণিতিক উদাহরণ: S. T. P-তে অক্সিজেনের ঘনত্ব 0·00143g/cc হলে অক্সিজেনের বাষ্পীয় ঘনত্ব কত?

সমাধান: নির্ণেয় বাষ্পীয় ঘনত্ব $=\frac{0\cdot00143gcc}{0\cdot00009g/cc}$ বা $\frac{143}{9}=15\cdot888$

বাষ্পীয় ঘনত্ব দুইটি ওজনের অনুপাত হওয়ায় এটির কোনো একক নেই। তবে কোন্ গ্যাসের আপেক্ষিকে বাষ্পীয় ঘনত্ব মাপা হয়েছে তা নির্দিষ্ট করে বলে দিতে হয়। উপরি-উক্ত উদাহরণে হাইড্রোজেনের আপেক্ষিকে (H=1) অক্সিজেনের বাষ্পীয় ঘনত্ব নির্ণয় করা হয়েছে।

3.5 নং গাণিতিক উদাহরণ: কোনো গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব যদি 80·0 হয় তাহলে গ্যাসটির S. T. P.-তে ঘনত্ব কত?

সমাধান: বাষ্পীয় ঘনত্ব $=\frac{\text{S.T.P.-তে গ্যাসটির g/cc-এককে ঘনত্ব}}{0\cdot00009g/cc}$

বা, S.T.P.-তে গ্যাসটির ঘনত্ব = বাষ্পীয় ঘনত্ব × 0·00009g/cc

= 80 × 0·00009g বা 0·0072g/cc।

ধরা যাক কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে 1 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসে

হাইড্রোজেন-অণুর সংখ্যা=n। অতএব, ঐ উষ্ণতায় ও চাপে 1 আয়তন যে-কোনো গ্যাসে 'n' সংখ্যক গ্যাসটির অণু থাকে। এখন, গ্যাসটির

$$\text{বাষ্পীয়ঘনত্ব} = \frac{\text{1 আয়তন গ্যাসের ওজন}}{\text{1 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসের ওজন}} \text{ [একই উষ্ণতা ও চাপে]}$$

$$= \frac{\text{গ্যাসের n সংখ্যক অণুর ওজন}}{\text{হাইড্রোজেনের n সংখ্যক অণুর ওজন}}$$

$$= \frac{\text{n} \times \text{একটি গ্যাস-অণুর ওজন}}{\text{n} \times \text{একটি হাইড্রোজেন-অণুর ওজন}}$$

$$= \frac{\text{1টি গ্যাস-অণুর ওজন}}{\text{1টি হাইড্রোজেন-অণুর ওজন}}$$

$$= \frac{\dfrac{\text{1টি গ্যাস-অণুর ওজন}}{\text{C-12 পরমাণুর ওজনের 1/12 অংশ}}}{\dfrac{\text{1টি হাইড্রোজেন-অণুর ওজন}}{\text{C-12 পরমাণুর ওজনের 1/12 অংশ}}}$$

$$= \frac{\text{গ্যাসটির আণবিক গুরুত্ব}}{\text{হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব}} \text{ [আণবিক গুরুত্বের সংজ্ঞার্থ থেকে]}$$

ধরা যাক গ্যাসটির বাষ্পীয় ঘনত্ব=D এবং আণবিক গুরুত্ব=M। আবার, হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব=1·008 এবং হাইড্রোজেন-অণুর পারমাণবিকতা দুই। কাজেই, হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব 2×1·008 বা 2·016 amu। অতএব, $D=\frac{M}{2 \cdot 016}$ বা, $M=D\times 2 \cdot 016$

সুতরাং, **গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব =2·016×গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব**। এটিই বাষ্পীয় ঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্বের সম্পর্ক। এই সম্পর্ক থেকে যৌগের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। গণনার সুবিধের জন্য সাধারণতঃ **M=2D** ধরা হয়।

3.6 নং গাণিতিক উদাহরণঃ S.T.P.-তে এক লিটার অক্সিজেনের এবং এক লিটার হাইড্রোজেনের ওজন যথাক্রমে 1·43g এবং 0·089g। অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব কত ?

সমাধানঃ অক্সিজেনের বাষ্পীয় ঘনত্ব$=\frac{1 \cdot 43g}{0 \cdot 089g}$ বা, 16·00

∴অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব=2×16·00 বা 32·00

(iii) N.T. P-তে এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের গ্যাসের আয়তনঃ যে-কোনো গ্যাসের N. T. P-তে বা S. T. P-তে

$$\text{বাষ্পীয় ঘনত্ব} = \frac{\text{N. T. P-তে } 1\ l \text{ গ্যাসটির ওজন}}{\text{N. T. P-তে } 1\ l \text{ হাইড্রোজেন গ্যাসের ওজন}}$$

প্রমাণ চাপে ও উষ্ণতায় (অর্থাৎ N. T. P বা S. T. P-তে ; 0°C উষ্ণতায় এবং 760 mm চাপে) 1 l হাইড্রোজেনের ওজন 0·089g (প্রায়)। যদি গ্যাসটির বাষ্পীয় ঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে D ও M হয় তাহলে,

$$D = \frac{\text{N. T. P-তে 1 লিটার গ্যাসের ওজন}}{0{\cdot}089g} \quad \text{আবার,}\ D = \frac{M}{2{\cdot}016}$$

$$\therefore \frac{M}{2{\cdot}016} = \frac{\text{N. T. P-তে 1 লিটার গ্যাসের ওজন}}{0{\cdot}089g}$$

$$\text{কাজেই, N. T. P-তে 1 লিটার গ্যাসের ওজন} = \frac{M \times 0{\cdot}089g}{2{\cdot}016}$$

$$\text{সুতরাং, } \frac{M \times 0{\cdot}089}{2{\cdot}016} g \text{ গ্যাসের N. T. P-তে আয়তন } 1l$$

$$\text{বা, 1g গ্যাসের N. T. P-তে আয়তন } \frac{2{\cdot}016}{M \times 0{\cdot}089} l$$

$$\text{বা, Mg গ্যাসের N. T. P তে আয়তন } \frac{2{\cdot}016 \times Mg}{M \times 0{\cdot}089g} \text{ বা, } 22{\cdot}414\ l$$

যেখানে Mg গ্যাসটির এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বকে প্রকাশ করে।

সুতরাং, N. T. P-তে 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ যে-কোনো গ্যাসের আয়তন 22·414 l (প্রায়)। N. T. P-তে 1 গ্রাম-অণু বা, 1 মোল অণু (3.8 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) যে-কোনো গ্যাসের আয়তনকে **গ্রাম আণবিক আয়তন** (Gram molecular volume) বা **আণবিক আয়তন** (Molar volume) বলে এবং **এটির মান 22·414 লিটার**।

অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব 31·9988। অতএব, N. T. P-তে 31·9988g অক্সিজেনের আয়তন 22·414 লিটার। আবার, অ্যামোনিয়ার গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব বা এক গ্রাম-অণুর ভর হল 17·031g। সুতরাং, 34·062g অ্যামোনিয়ার N. T. P-তে আয়তন 44·828 l এবং 8·516g অ্যামোনিয়ার N. T. P-তে আয়তন 11·212l হয়।

কাজেই, স্থির চাপে ও উষ্ণতায় গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন তার গ্রাম-অণুর সংখ্যার সঙ্গে সমানুপাতিক। এটি অ্যাভোগাড্রোর সূত্রের আর এক রূপ। সাংকেতিক ভাষায়—স্থির চাপে ও উষ্ণতায় $V \propto n$।

[যেখানে, V=গ্যাসের আয়তন এবং n=গ্রাম-অণুর সংখ্যা] এই উপপাদনটির গুরুত্বপূর্ণ বিষয়টি হল। 22·414 লিটার এটি যেমন N. T.P.-তে

আণবিক আয়তনকে নির্দিষ্ট করে তেমনি এটির সাহায্যে যে-কোনো উষ্ণতা ও চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন জানা থাকলে তার ভর নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে অবশ্য গ্যাসীয় অবস্থার সমীকরণের সাহায্য নিতে হয় (অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য।)

3.7 নং গাণিতিক উদাহরণ : S. T. P-তে 2g নাইট্রোজেনের আয়তন কত ?

সমাধান : S. T. P-তে 28·012g নাইট্রোজেনের আয়তন 22·414*l*। কারণ নাইট্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব 28·012 amu।

S. T. P-তে 2g নাইট্রোজেনের আয়তন $\frac{22 \cdot 414 l}{28 \cdot 012 g} \times 2g$ বা, 1·6002*l*

3.8 নং গাণিতিক উদাহরণ : S. T.P-তে 2·24*l* ক্লোরিনের ভর কত ?

সমাধান : ক্লোরিনের গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব হল 37·99g। অতএব, 22·400*l* ক্লোরিনের ভর 37·99g.। বা, 1*l* ক্লোরিনের ভর $\frac{37 \cdot 99}{22 \cdot 4}$g

বা, 2·24*l* ক্লোরিনের ভর $\frac{37 \cdot 99}{22 \cdot 4} \times 2 \cdot 24g = 3 \cdot 799g$

3.9 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·25 গ্রাম-অণু অ্যামোনিয়ার আয়তন (S. T. P-তে) কত ?

সমাধান : এক গ্রাম-অণু অ্যামোনিয়ার S. T. P-তে আয়তন 22·414*l*

∴ 0·25 গ্রাম-অণু অ্যামোনিয়ার S. T. P-তে আয়তন 22·414 ×0·25*l* বা 5·6035*l*

3.10 নং গাণিতিক উদাহরণ : 1 লিটার (S. T. P-তে) কার্বন-ডাই-অক্সাইড সমান কত গ্রাম-অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইড? গ্রাম-এককে এর ভর কত ?

সমাধান : 22·4*l* কার্বন-ডাই-অক্সাইড সমান এক গ্রাম-অণু CO_2।

অতএব, 1*l* কার্বন-ডাই-অক্সাইড সমান $\frac{1}{22 \cdot 4}$ বা 0·044 গ্রাম-অণু CO_2।

সুতরাং, গ্রাম-এককে 1*l* কার্বন-ডাই-অক্সাইডের ভর $= 0 \cdot 044 \times 44g$ বা, 1·936g

(iv) গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত নির্ণয় : যে-কোনো গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত নির্ণয়ের জন্য পরীক্ষার সাহায্য নিতে হয়। পরীক্ষা করতে গিয়ে যে-সব গ্যাসের আয়তন পরিমাপের দরকার হয় তা

একই উষ্ণতা ও চাপে মাপা হয়। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে বিক্রিয়াশীল ও বিক্রিয়ালব্ধ গ্যাসগুলির আয়তনিক সম্পর্ক স্থাপন ও অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগের দ্বারা ঐ গ্যাসগুলির মধ্যে আণবিক যোগসূত্র নির্দিষ্ট করা যায়। এখন পরীক্ষায় গ্যাসটির বাষ্পীয় ঘনত্ব অথবা 22·414 লিটার গ্যাসের (N. T. P-তে) ওজন নির্ণয় করে এবং গ্যাসটির পারমাণবিকতা, পারমাণবিক গুরুত্ব ইত্যাদি জেনে এই সব তথ্য থেকে যে-কোনো গ্যাসের আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যায়। নীচে তিনটি উদাহরণ দেওয়া হল ঃ

(A) অক্সিজেনের আণবিক সংকেত নির্ণয়ঃ পরীক্ষার দ্বারা অক্সিজেনের বাষ্পীয় ঘনত্ব 16 পাওয়া যায়।

সুতরাং, অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব $2 \times 16 = 32$ (প্রায়)

কিন্তু অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব $= 15{\cdot}999$

অতএব, অক্সিজেনের পারমাণবিকতা $= \frac{32}{15{\cdot}999}$ বা, 2

সুতরাং, অক্সিজেনের আণবিক সংকেত O_2।

(B) জলীয় বাষ্পের আণবিক সংকেত নির্ণয়ঃ শুষ্ক হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের মিশ্রণে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ প্রবাহিত করে জলীয় বাষ্প তৈরী করা হল। হাইড্রোজেন গ্যাস, অক্সিজেন গ্যাস এবং জলীয় বাষ্পের আয়তন ধরি 130°C উষ্ণতায় এবং বায়ুমণ্ডলের চাপে মাপা হল। দেখা গেল যে, 2 আয়তন হাইড্রোজেন 1 আয়তন অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 আয়তন জলীয় বাষ্প তৈরী করে। সুতরাং, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী বলা যায়,

2n অণু হাইড্রোজেন n অণু অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং 2n অণু জলীয় বাষ্প তৈরী করে।

বা 2টি হাইড্রোজেন অণু 1টি অক্সিজেন অণুর সঙ্গে যুক্ত হয় এবং 2 অণু জলীয় বাষ্প তৈরী করে।

আবার, অ্যাভোগাড্রোর সূত্র থেকে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, অক্সিজেন অণু ও হাইড্রোজেন অণু উভয়েরই পারমাণবিকতা 2।

সুতরাং, 4টি হাইড্রোজেন পরমাণু ও 2টি অক্সিজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে 2টি জলীয় বাষ্পের অণু তৈরী করে।

অর্থাৎ, জলীয় বাষ্পের 2টি অণুতে হাইড্রোজেনের 4টি পরমাণু এবং অক্সিজেনের 2টি পরমাণু আছে।

∴ 1 অণু জলীয় বাষ্পে 2 পরমাণু হাইড্রোজেন এবং 1 পরমাণু অক্সিজেন আছে।

সুতরাং, জলীয় বাষ্পের আণবিক সংকেত H_2O।

(C) কার্বন-ডাই-অক্সাইডের আণবিক সংকেত নির্ণয়ঃ একটি বদ্ধ পাত্রে বিশুদ্ধ অক্সিজেনে কিছুটা কার্বনের দহন ঘটিয়ে দেখা গেল যে, একই উষ্ণতা ও চাপে 1 আয়তন অক্সিজেন কার্বনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 1 আয়তন কার্বন-ডাই-অক্সাইড তৈরী করে। ধরা যাক, 1 আয়তন অক্সিজেনে 'n' সংখ্যক অণু আছে। সুতরাং, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী, 1 আয়তন কার্বন-ডাই-অক্সাইডে 'n' সংখ্যক কার্বন-ডাই-অক্সাইড অণু আছে।

কাজেই n অণু অক্সিজেন তৈরী করে n অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইড বা, 1 অণু অক্সিজেন তৈরী করে 1 অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইড। কিন্তু অক্সিজেনের পারমাণবিকতা হল 2।

সুতরাং, 2 পরমাণু অক্সিজেন তৈরী করে 1 অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইড।

অর্থাৎ, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের আণবিক সংকেত C_xO_2।

পরীক্ষার দ্বারা জানা যায় যে, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের বাষ্পীয় ঘনত্ব 22,

কাজেই, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব $2 \times 22 = 44$. (প্রায়)।

কিন্তু কার্বন ও অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 12 এবং 16 হলে

$$12x + 2 \times 16 = 44 \quad \text{বা } 12x = 12 \quad \therefore \quad x = 1$$

সুতরাং, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের একটি অণুতে কার্বনের একটি পরমাণু আছে। কাজেই, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের আণবিক সংকেত হল CO_2।

(v) মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ অ্যাভোগাড্রোর সূত্রকে কাজে লাগিয়ে দুইভাবে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়ঃ

(A) মৌলের বাষ্পীয় ঘনত্ব এবং পারমাণবিকতা নির্ণয়ের দ্বারাঃ মৌলিক গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব পরিমাপ করে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়। আবার, অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগের দ্বারা ঐ মৌলিক গ্যাসের পারমাণবিকতা নির্ণয় করা যায়। এখন, আণবিক গুরুত্বকে গ্যাস-অণুর পারমাণবিকতা দিয়ে ভাগ করে তার পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

$$\text{অর্থাৎ, পারমাণবিক গুরুত্ব} = \frac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{পারমাণবিকতা}}$$

যেমন, ক্লোরিন গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব হল 35·46।

∴ ক্লোরিনের আণবিক গুরুত্ব=70·92 (অ্যাভোগাড্রোর সূত্র)। কিন্তু ক্লোরিনের পারমাণবিকতা 2।

সুতরাং, ক্লোরিনের পারমাণবিক গুরুত্ব=$\frac{70 \cdot 92}{2}$ বা 35·46

(B) ক্যান্নিজারো পদ্ধতির দ্বারাঃ পরমাণু অবিভাজ্য বলে যে-কোনো যৌগে কোনো পরমাণু একটির কম থাকতে পারে না। তাই কোনো মৌলিক পদার্থের অনেকগুলি যৌগের মধ্যে যে যৌগটিতে ঐ মৌলিক পদার্থের সবচেয়ে কম ওজনের (C-12 স্কেলের ভিত্তিতে) পদার্থ থাকবে তাকেই মৌলটির পারমাণবিক গুরুত্ব বলে ধরে নেওয়া যায়। তাই এই পদ্ধতিতে কোনো মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করতে হলে,

(a) মৌলটির কতকগুলি উদ্বায়ী যৌগ নিতে হবে।

(b) যৌগগুলির বাষ্পীয় ঘনত্ব থেকে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করতে হবে।

(c) যৌগগুলির প্রত্যেকের শতকরা সংযুতি নির্ণয় করতে হবে।

(d) প্রত্যেকটি যৌগের এক আণবিক গুরুত্বের পরিমাণে কতটা পরিমাণে মৌলটি আছে তা নির্ণয় করতে হবে।

(e) যে-কোনো একটি যৌগে দেখা যাবে যে, মৌলটির পরিমাণ সবচেয়ে কম। ঐ পরিমাণটিই মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব। তবে পদার্থের বাষ্পীয় ঘনত্ব নির্ভুলভাবে মাপা যায় না বলে সঠিক পারমাণবিক গুরুত্ব এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

কার্বনের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতির প্রয়োগঃ

(a) মিথেন, ইথেন, ইথিলিন, অ্যাসিটিলিন, কার্বন মনোক্সাইড ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড—এই ছয়টি কার্বনের উদ্বায়ী যৌগ নেওয়া হল।

(b) এই যৌগগুলির বাষ্পীয় ঘনত্ব মেপে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হল।

যৌগ	আণবিক গুরুত্ব (স্থূল)	ওজন হিসাবে কার্বনের শতকরা সংযুতি
মিথেন	16	...75%
ইথেন	30	...80%
ইথিলিন	28	...85·71%
অ্যাসিটিলিন	26	...92·30%
কার্বন মনোক্সাইড	28	...42·85%
কার্বন-ডাই-অক্সাইড	44	...27·27

(c) যৌগগুলির প্রত্যেকটির শতকরা সংযুতি নির্ণয় করা হল। প্রতি 100 ভাগ ওজনের যৌগে যতভাগ ওজনের বিভিন্ন মৌল বর্তমান থাকে তাকেই যৌগটির **শতকরা সংযুতি** বলে (4·9 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

(d) প্রতিটি যৌগের এক আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থে কার্বনের পরিমাণ,

মিথেনে : $\frac{75}{100} \times 16 = \frac{1200}{100}$ বা 12 ভাগ

ইথেনে : $\frac{80}{100} \times 30 = \frac{2400}{100}$ বা 24 ভাগ

ইথিলিনে : $\frac{85 \cdot 71}{100} \times 28 = \frac{2399 \cdot 88}{100}$ বা 23·99 ভাগ

অ্যাসিটিলিনে : $\frac{92 \cdot 30}{100} \times 26 = \frac{2399 \cdot 80}{100}$ বা 23·99 ভাগ

কার্বন-মনোক্সাইডে : $\frac{42 \cdot 85}{100} \times 28 = \frac{1199 \cdot 80}{100}$ বা 11·99 ভাগ

কার্বন-ডাই-অক্সাইডে : $\frac{27 \cdot 27}{100} \times 44 = \frac{1199 \cdot 88}{100}$ বা 11·99 ভাগ

দেখা যাচ্ছে যে, মিথেন, কার্বন-মনোক্সাইড ও কার্বন-ডাই-অক্সাইডে কার্বনের পরিমাণ সবচেয়ে কম এবং তা 12 (প্রায়)। সুতরাং, কার্বনের পারমাণবিক গুরুত্ব 12 ধরা যায়।

3.7 অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা (Avogadro's number) : বিভিন্নভাবে জানা গেছে যে, এক গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ যে-কোনো পদার্থে পরমাণুর সংখ্যা নির্দিষ্ট এবং তা হল $6 \cdot 023 \times 10^{23}$টি। আবার, এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ যে-কোনো পদার্থে অণুর সংখ্যাও দেখা গেছে $6 \cdot 023 \times 10^{23}$টি। একইভাবে, ধরা যায় যে, এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থে সংকেত-এককের মতো গঠনের কণার সংখ্যাও $6 \cdot 023 \times 10^{23}$টি। **$6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যাটিকে বলা হয় অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা।** অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যার প্রতীক হিসেবে সাধারণতঃ N_o ব্যবহৃত হয়।

অতএব, $N_o = 6 \cdot 023 \times 10^{23}$

প্রকৃত পক্ষে অ্যাভোগাড্রোর সূত্র থেকে এই সংখ্যাটি কল্পনা করা যায়। S. T. P. একটি নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতাকে বোঝায় বলে অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুসারে S. T. P তে 22·4 *l* প্রত্যেক গ্যাসেই অণুর সংখ্যা সমান

থাকে। আবার, S. T. P-তে 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ যে-কোনো গ্যাসের আয়তন 22·4 l।

অতএব, 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের বা 1 গ্রাম-অণু পরিমাণ প্রত্যেক গ্যাসে অণুর সংখ্যা সমান। অর্থাৎ 1 গ্রাম-অণু যে-কোনো গ্যাসে অণুর সংখ্যা নির্দিষ্ট। ধরা যাক এই নির্দিষ্ট সংখ্যাটি x।

কিন্তু x এর মান কত ? কোনো গ্যাসের গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব এবং ঐ গ্যাসের একটি অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন জানা থাকলে তা সহজেই নির্ণয় করা যায়। খানিকটা পদার্থের ওজন মানে ঐ পরিমাণ পদার্থের মধ্যস্থিত অণুগুলির ওজন হওয়ায় বলা যায় যে,

1 গ্রাম-অণু গ্যাসের ভর=এক গ্রাম-অণু গ্যাসের মধ্যে ঐ গ্যাসের যতগুলি অণু আছে তার গ্রাম-এককে মোট ভর। বা,

1 গ্রাম-অণু গ্যাসের ভর $= x \times$ একটি গ্যাস-অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন।

হাইড্রোজেনের গ্রাম-আণবিক গুরত্ব হল 2·016g এবং একটি হাইড্রোজেন অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন $2 \times 1{\cdot}6734 \times 10^{-24}$g বা, $3{\cdot}3468 \times 10^{-24}$g।

[একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর পরম ওজন (গ্রাম-এককে) $= 1{\cdot}6734 \times 10^{-24}$g এবং হাইড্রোজেন অণুর পারমাণবিকতা = 2]

$$\therefore \quad 2{\cdot}016\text{g} = x \times 3{\cdot}3468 \times 10^{-24}\text{g}$$

বা, $x = \dfrac{2{\cdot}016}{3{\cdot}3468 \times 10^{-24}}$ বা, $6{\cdot}023 \times 10^{23}$

অতএব S. T. P-তে এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের যে-কোনো গ্যাসে সেই গ্যাসের $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি অণু থাকে।

আবার, S. T. P-তে যে-কোনো গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর আয়তন 22·414l কাজেই, **S. T. P-তে যে-কোনো গ্যাসের 22·414 লিটারে গ্যাসীয় পদার্থটির $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি অণু থাকে।**

আবার, কোনো নির্দিষ্ট ওজনের গ্যাসীয় পদার্থকে তার কঠিন বা তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করলে পদার্থের আয়তন কমে যায় কিন্তু ওজনের কোনো পরিবর্তন হয় না। সুতরাং, 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ যে-কোনো পদার্থের কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় ঐ পদার্থের অণুর সংখ্যা $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি। অবশ্য মৌলিক পদার্থের ক্ষেত্রে তিনটি ভৌত অবস্থাতেই যদি তার অণুর পারমাণবিকতা একই রকম থাকে।

অনুরূপে, 1 গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বে সংকেত-এককের মতো কণার সংখ্যা $=6{\cdot}023\times10^{23}$টি এবং 1 গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বে বা এক গ্রাম-পরমাণুতে পরমাণুর সংখ্যা $=6{\cdot}023\times10^{23}$ টি। সুতরাং কোনো পদার্থের গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব বা 1 গ্রাম-অণু $=6{\cdot}023\times10^{23}$ টি অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন।

একইভাবে, কোনো পদার্থের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব $=6{\cdot}023\times10^{23}$-টি সংকেত-এককের মতো কণার গ্রাম-এককে পরম ওজন।

এবং 1 গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব বা 1 গ্রাম-পরমাণু $=6{\cdot}023\times10^{23}$-টি পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন।

আবার, গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব, গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের গ্রাম-একক বাদ দিলে যথাক্রমে আণবিক গুরুত্ব, সংকেত-গুরুত্ব এবং পারমাণবিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। সুতরাং, কোনো পদার্থের অণু, পরমাণু এবং সংকেত-এককের গ্রাম-এককে পরম ওজন জানা থাকলে সেইগুলিকে অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা দিয়ে গুণ করে এবং গ্রাম একক বাদ দিয়ে যথাক্রমে আণবিক গুরুত্ব, পারমাণবিক গুরুত্ব এবং সংকেত-গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

3.11 নং গাণিতিক উদাহরণ: অক্সিজেন-পরমাণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন $26{\cdot}5572\times10^{-24}$g হলে অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব কত ?

সমাধান: 1 গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের অক্সিজেন হল

$$26{\cdot}5572\times10^{-24}\times6{\cdot}023\times10^{23}g=15{\cdot}999g$$

সুতরাং, অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব $=15{\cdot}999$ amu

3.12 নং গাণিতিক উদাহরণ: 0·440g কার্বন-ডাই-অক্সাইডে কতগুলি কার্বন-ডাই-অক্সাইডের অণু আছে ?

সমাধান: 44·0g হল এক গ্রাম-অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইডের ভর। আবার, এক গ্রাম-অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইডে $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি কার্বন-ডাই-অক্সাইডের অণু থাকে। কাজেই,

44·0g কার্বন ডাই-অক্সাইডে তার অণুর সংখ্যা $=6{\cdot}023\times10^{23}$-টি

বা, 1 g কার্বন-ডাই-অক্সাইডে তার অণুর সংখ্যা $=\dfrac{6{\cdot}023\times10^{23}\text{-টি}}{44{\cdot}0}$

বা, 0·440g কার্বন-ডাই-অক্সাইডে তার অণুর সংখ্যা

$$=\frac{6{\cdot}023\times10^{23}\times0{\cdot}44\text{-টি}}{44{\cdot}0}\text{ বা }6{\cdot}203\times10^{21}\text{-টি।}$$

3.13 নং গাণিতিক উদাহরণ: S. T. P-তে 1 ml নাইট্রোজেনে বা অন্য যে-কোনো গ্যাসে তার অণুর সংখ্যা কত ?

সমাধান: S. T. P-তে 22·414*l* যে-কোনো গ্যাসে তার অণুর সংখ্যা

$$=6{\cdot}023\times10^{23}\text{-টি}$$

∴ S. T. P-তে 1 ml যে-কোনো গ্যাসে তার অণুর সংখ্যা

$$=\frac{6{\cdot}023\times10^{23}}{22{\cdot}414\times1000}\text{-টি}=2{\cdot}682\times10^{19}$$

3.14 নং গাণিতিক উদাহরণ: $3{\cdot}51\times10^{22}$-টি কপার পরমাণুর ভর কত ?

সমাধান: $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি কপার পরমাণুর গ্রাম-এককে ভর হল 63·5g

1 টি কপার পরমাণুর গ্র্যাম-এককে ভর হল $\frac{63{\cdot}5}{6{\cdot}023\times10^{23}}$g

∴ $3{\cdot}51\times10^{22}$-টি কপার পরমাণুর গ্রাম-এককে ভর$=\frac{63{\cdot}5\times3{\cdot}51\times10^{22}}{6{\cdot}023\times10^{23}}$

$$=3{\cdot}70\text{g}$$

3.15 নং গাণিতিক উদাহরণ: $3{\cdot}51\times10^{22}$-টি সালফার পরমাণু সমান কত গ্রাম-পরমাণু সালফার।

সমাধান: $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি সালফার পরমাণু=1গ্রাম-পরমাণু সালফার

অতএব, $3{\cdot}51\times10^{22}$-টি সালফার পরমাণু$=\frac{3{\cdot}51\times10^{22}}{6{\cdot}023\times10^{23}}$

বা, 0·0583 গ্রাম-পরমাণু সালফার।

3.8 মোল-একক (Mole unit): অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র রাসায়নিক কণার (Chemical species-এর) মধ্যে পারস্পরিক বিক্রিয়ায় বিভিন্ন পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে। কাজেই রসায়নে এই কণাগুলিই মৌলিক একক (Basic unit)। অবশ্য যে-কোনো একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় দু-দশটি নয় গণনাতীত সংখ্যায় এই সমস্ত কণা অংশ গ্রহণ করে এবং সে-ক্ষেত্রে এই সংখ্যার তুলনায় গোটা পৃথিবীর লোক সংখ্যাও অতি নগণ্য। কাজেই বিক্রিয়াশীল পদার্থের ঐ সব কণা গণনা করা যেমন অসম্ভব তেমনি 1, 2, 500, 10000 ইত্যাদি রাশির দ্বারা সেই সংখ্যাকে প্রকাশ করা অসুবিধাজনক। অথচ যে-কোনো পদার্থের ভর পরিমাপ করা খুবই সহজ। এই জন্য রসায়নবিদগণ এমন একটি এককের কথা ভাবছিলেন যেটি দিয়ে যে-কোনো পদার্থের ভর এবং তাতে ঐ পদার্থের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার

সংখ্যা উভয়ই নির্দিষ্ট করা যায়। গ্রাম-পরমাণু, গ্রাম-অণু এবং গ্রাম সংকেত-গুরুত্ব অবশ্যই এই ধরনের একক। গ্রাম-পরমাণু এককের দ্বারা পদার্থের $6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি পরমাণুকে এবং এই পরমাণুগুলির ভরকে প্রকাশ করা যায় কিন্তু পদার্থের অণু বা আয়নের সংখ্যা এই এককের দ্বারা প্রকাশ করা যায় না। গ্রাম-অণু এককের দ্বারা একইভাবে অণুর সংখ্যা ও পদার্থের ভর নির্দিষ্ট করা যায় কিন্তু পদার্থটির পরমাণুর সংখ্যা বা আয়নের সংখ্যা প্রকাশ করা যায় না। এই কারণে বিজ্ঞানীরা নতুন একটি ব্যবহারিক এককের কথা ভাবলেন যেটি দিয়ে যে-কোনো পরিমাণ পদার্থের ভর এবং তাতে অণু, পরমাণু বা আয়নের সংখ্যা সবই নির্দিষ্ট করা যায়। এই **ব্যবহারিক এককটিই মোল-একক।** তবে মোল প্রধানতঃ রাসায়নিক কণার সংখ্যা গণনার একক। কিন্তু কোনো পদার্থের খানিকটার ভর জানা থাকলে তবেই তাতে অণু, পরমাণু আয়ন প্রভৃতি কণার সংখ্যা গণনা করা যায় বলে আন্তর্জাতিক-একক (SI unit) পদ্ধতিতে মোল-একক হল পদার্থের পরিমাণ নির্দিষ্ট করার একক এবং একই কারণে মোল-এককের সংজ্ঞার্থ স্থির করতে গিয়ে পদার্থের ভর ও কণার সংখ্যাকে সংযুক্ত করা হয়েছে। কোনো পদার্থের এক মোল কণা ঐ পদার্থের $6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি কণা এবং এই কণাগুলির গ্রাম-এককে মোট ভরকে বোঝায়।

1 মোল $H = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি হাইড্রোজেন পরমাণু এবং $1{\cdot}008g$ H

1 মোল $H^+ = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি হাইড্রোজেন আয়ন এবং প্রায় $1{\cdot}008gH^+$

1 মোল $H_2 = 6.023 \times 10^{23}$-টি হাইড্রোজেন অণু এবং $2{\cdot}016gH$

মোলের সংজ্ঞার্থ: 12g কার্বন-12-এ যতগুলি C-12 পরমাণু থাকে ততগুলি কণা কোনো পদার্থের যত গ্রামে থাকে তাকেই কণার 1 গ্রাম-মোল বা মোল বলে। অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা থেকে জানা যায় যে, 12g কার্বন-12-তে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি C-12 পরমাণু থাকে। কারণ 12 g হলো কার্বন-12-এর গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব। আবার, $6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি কণার গ্রাম-এককে পরম ওজন হল, পরমাণুর ক্ষেত্রে গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব, অণুর ক্ষেত্রে গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব, এবং সংকেত-এককের ক্ষেত্রে গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব। সুতরাং, এক গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থকে 1 মোল পরমাণু এবং এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থকে 1 মোল-সংকেত-একক বলে।

রসায়নে সাধারণভাবে গ্রামকেই ওজন পরিমাপের একক ধরা হয় বলে গ্রাম-মোলকে সংক্ষেপে মোল বলা হয় (Mole ; আরও সংক্ষেপে Mol)। মোলের প্রতীক হিসাবে সাধারণতঃ n ব্যবহৃত হয়। অবশ্য ওজনের অন্য যে-কোনো একক ব্যবহার করা চলে। যেমন, পাউণ্ডের এককে সংকেত-গুরুত্ব প্রকাশ করা হলে পাউণ্ড-মোল সংকেত-একক বলা যায়। অনুরূপভাবে, মিলি-মোল (মিলিগ্রাম-মোল) বা টন-মোলও ব্যবহার করা চলে।

1 মোল কণা $=1$ গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ কণা

1 মোল কণা $=6{\cdot}023\times10^{23}$-টি সংকেত-এককের ন্যায় গঠনের কণা

1 মোল কণা $=6{\cdot}023\times10^{23}$-টি কণার গ্রাম-এককে পরম ওজন

1 পাউণ্ড-মোল কণা $=453{\cdot}6\times6{\cdot}023\times10^{23}$-টি কণা

1 মিলি-মোল কণা $=\frac{1}{1000}\times1$ গ্রাম-মোল কণা

$=\frac{1}{1000}\times6{\cdot}023\times10^{23}$-টি কণা।

S. T. P-তে এক মোল-অণু যে-কোনো গ্যাসের আয়তন 22·414 লিটার। মোল কথাটি অণু, পরমাণু, আয়ন, ইলেকট্রন প্রভৃতি যে-কোনো কণার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। সুতরাং, মোল কথাটির সঙ্গে সর্বদাই কোন্ ধরনের কণার কথা বলা হচ্ছে তা নির্দিষ্ট করে লিখতে হয়। যেমন,

1 মোল ইলেক্ট্রন $=5{\cdot}486\times10^{-4}$g ইলেক্ট্রন বা, $6{\cdot}0213\times10^{23}$-টি ইলেক্ট্রন

1 মোল প্রোটন (H^+) $=1{\cdot}008$g প্রোটন বা, $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি প্রোটন

1 মোল OH^--আয়ন $=17{\cdot}007$g OH^--আয়ন বা, $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি OH^-।

1 মোল ম্যাগনেসিয়াম পরমাণু 1 গ্রাম-পরমাণু ম্যাগনেসিয়ামকে, অর্থাৎ 1 গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের ম্যাগনেসিয়ামকে বোঝায়

বা, 24·305g ম্যাগনেসিয়ামকে বোঝায়

বা, $6{\cdot}023\times10^{23}$-টি ম্যাগনেসিয়াম পরমাণুকে বোঝায়।

1 মোল অক্সিজেন অণু 1 গ্রাম-অণু অক্সিজেনকে বোঝায়

অর্থাৎ, 1 গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের অক্সিজেনকে বোঝায়

বা, 31·9988 g অক্সিজেনকে বোঝায় বা,

S. T. P-তে 22·414 l অক্সিজেন গ্যাসকে বোঝায়।

2 মোল $CaCO_3$ কথার অর্থ 2 গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের $CaCO_3$

বা, $2\times100{\cdot}089$ g $CaCO_3$

বা, $2\times6{\cdot}023\times10^{23}$-টি সংকেত-এককের $CaCO_3$।

মোল-এককে রাসায়নিক গণনা করতে হলে যে-কোনো পরিমাণকে সম্ভব হলে মোল-এককে পরিণত করতে হয় এবং তা করা যায় পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রদত্ত গ্রাম-এককের পরিমাণকে গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব দিয়ে ভাগ করে, অণুর ক্ষেত্রে গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব দিয়ে ভাগ করে এবং সংকেত-এককের ক্ষেত্রে গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব দিয়ে ভাগ করে। আয়তনের ক্ষেত্রে S. T. P-তে গ্যাসের আয়তন নির্ণয় করে 22·414l দিয়ে ভাগ করে মোল-সংখ্যা গণনা করা হয়। পরমাণু, অণু, আয়ন ইত্যাদির ক্ষেত্রে উপরি-উক্ত ভাগফলগুলি ঐ কণাগুলির মোল-সংখ্যা নির্দিষ্ট করে। আবার যে-কোনো কণার মোল-সংখ্যা জানা থাকলে এটিকে কণাটির আপেক্ষিক ওজন দিয়ে গুণ করে গুণফলকে গ্রাম-এককে প্রকাশ করলে পদার্থের ভর বা ওজন পাওয়া যায়। নীচে মোল-এককে গণনার কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল। চতুর্থ, পঞ্চম, ইত্যাদি অধ্যায়ে এই এককে অনেক রাসায়নিক গণনা করা হয়েছে।

3.16 নং গাণিতিক উদাহরণ : 9·54g সালফার ডাইঅক্সাইডে কত মোল সালফার ডাইঅক্সাইড আছে ? সালফার ডাইঅক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব=64·06

সমাধান : প্রদত্ত তথ্যানুসারে সালফার ডাইঅক্সাইডের গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব=64·06g। অতএব, 9·54g সালফার ডাইঅক্সাইড $=\frac{9\cdot54\text{g}}{64\cdot06\text{g}}$ বা 0·1489 মোল সালফার ডাইঅক্সাইড

3.17 নং গাণিতিক উদাহরণ : 100g ক্লোরিনে কত মোল ক্লোরিন পরমাণু আছে ? ক্লোরিনের পারমাণবিক গুরুত্ব 35·461 u।

সমাধান : 35·461g ক্লোরিন=1 মোল ক্লোরিন পরমাণু

$\therefore$ 100g ক্লোরিন $=\frac{1\times100\text{g}}{35\cdot461\text{g}}$ বা 2·82 মোল ক্লোরিন পরমাণু।

3.18 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·25 মোল CO_2-তে কত ভরের CO_2 আছে। CO_2--এর সংকেত-গুরুত্ব 44·0u।

সমাধান : 1 মোল CO_2-এর ভর 44·0g

অতএব, 0·25 মোল CO_2-এর ভর $44\cdot0\times0\cdot25$ বা 11·0g।

3.19 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·25 মোল CO_2-তে কতগুলি CO_2 অণু আছে ?

সমাধান : 1 মোল CO_2-তে আছে $6\cdot023\times10^{23}$-টি CO_2 অণু

∴ 0·25 মোল CO_2তে আছে $6·023 \times 0·25 \times 10^{23}$টি বা,

$1·50575 \times 10^{23}$টি CO_2 অণু

3.20 নং গাণিতিক উদাহরণ : কোনো পদার্থের একটি পরমাণু ঐ পদার্থের কত মোল পরমাণু ?

সমাধান : 1 মোল পরমাণু $=6·023 \times 10^{23}$টি পরমাণু

অতএব, একটি পরমাণু $=\frac{1}{6·023 \times 10^{23}}$ বা $1·66 \times 10^{-24}$ মোল পরমাণু।

3.21 নং গাণিতিক উদাহরণ : S. T. P-তে 2ml অ্যামোনিয়া সমান কত মোল অ্যামোনিয়া ?

সমাধান : S. T. P-তে এক মোল অ্যামোনিয়ার আয়তন 22·4l

বা, S. T. P-তে 22400 ml অ্যামোনিয়া সমান 1 মোল অ্যামোনিয়া

∴ S. T. P-তে 2ml অ্যামোনিয়া সমান $\frac{2 \text{ ml}}{22400 \text{ ml}}$ বা $8·92 \times 10^{-5}$

মোল অ্যামোনিয়া।

3.22 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·25 মোল কার্বন ডাইঅক্সাইডের S. T. P-তে আয়তন কত ?

সমাধান : 1 মোল কার্বন ডাইঅক্সাইডের S. T. P. তে আয়তন 22·4 l

∴ 0·25 মোল কার্বন ডাইঅক্সাইডের S. T. P.-তে আয়তন

$=22·4 \times 0·25 \ l = 5·60 \ l$

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ :

1. অণু ও পরমাণুর মধ্যে পার্থক্য কি? অণুর কল্পনার সঙ্গে সঙ্গে ডালটনের পরমাণুবাদের কি কি পরিবর্তন ঘটেছে? কি কারণে অ্যাভোগাড্রো অণুর কল্পনা করেছিলেন?

2. বার্জেলিয়াসের প্রকল্পটি কি? তিনি এই প্রকল্পটি দিলেন কেন? প্রকল্পটির ত্রুটি কি এবং কি ভাবে তা বোঝা গেল? অ্যাভোগাড্রো এই ত্রুটিকে কি ভাবে এড়িয়ে গেলেন ?

3. অ্যাভোগাড্রোর সূত্রটি কি ? এই সূত্রের সাহায্যে যে-কোনো গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্বের সঙ্গে আণবিক গুরুত্বের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

4. অ্যাভোগাড্রোর সূত্রের সাহায্যে মৌলিক গ্যাস-অণুর পারমাণবিকতা এবং পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

5. গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত নির্ণয়ের পদ্ধতি উদাহরণ সহ লেখ।

6. টীকা লেখঃ (i) অণু, (ii) পারমাণবিকতা, (iii) আণবিক গুরুত্ব, (iv) গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব (v) অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা, (vi) মোল-একক (vii) ঘনত্ব (viii) বাষ্পীয় ঘনত্ব (ix) আন্তরাণবিক স্থান (x) C-12 স্কেল (xi) আণবিক আয়তন।

7. হিলিয়াম গ্যাসের অণুকে হিলিয়ামের ধর্মসম্পন্ন আরও ছোট কণায় ভাঙ্গা যায় না অথচ অক্সিজেন অণুকে তা যায় কেন?

8. অ্যামোনিয়ার গুণসম্পন্ন তার সবচেয়ে ছোট কণার নাম কি ?

9. অ্যাভোগাড্রো তাঁর সূত্রে সমান আয়তনের বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থ পরিমাপের জন্য সমান উষ্ণতা ও চাপের কথা বলেছেন কেন?

10. গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে 22.414 লিটারের গুরুত্ব কি ?

11. কোনো গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্বের সঙ্গে তার বাষ্পীয় ঘনত্বের সম্পর্ক কি?

12. ঘনত্বের একক আছে কিন্তু বাষ্পীয় ঘনত্বের একক নেই কেন?

13. এক পাউণ্ড-আণবিক গুরুত্ব বলিত কি বোঝায়?

14. কোনো গ্যাসের S. T. P-তে ঘনত্ব জানা থাকলে তার বাষ্পীয় ঘনত্ব কেমন করে নির্ণয় করা যায়? বাষ্পীয় ঘনত্ব নির্ণয়ের একটি পরীক্ষা বল। [উঃ বায়ুশূন্য এবং বায়ুনিরুদ্ধ কাচের ফ্লাস্কের ওজন নিতে হবে। এখন ঐ ফ্লাস্কে হাইড্রোজেন গ্যাস পূর্ণ করে আবার ওজন নিতে হবে। এই দুই ওজনের বিয়োগফল হল পরীক্ষগারের উষ্ণতায় ও চাপে হাইড্রোজেনের ওজন। এখন কাচের ফ্লাস্কটিকে আবার সম্পূর্ণ খালি করে পরীক্ষণীয় গ্যাসে পূর্ণ করতে হবে এবং পুনরায় ওজন নিতে হবে। এই ওজন থেকে ফ্লাস্কের ওজন বাদ দিলে গ্যাসটির ওজন পাওয়া যায়। গ্যাসটির ওজনকে হাইড্রোজেনের ওজন দিয়ে ভাগ করলেই তার বাষ্পীয় ঘনত্ব পাওয়া যাবে।]

15. অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যার গুরুত্ব কি?

16. হাইড্রোজেনের একটি অণুর মোল-সংখ্যা এবং অ্যামোনিয়ার একটি অণুর মোল-সংখ্যা কি সমান? [উঃ হ্যাঁ]

17. S. T. P-তে 2ml হাইড্রোজেন গ্যাসের অণুর সংখ্যা 2ml অ্যামোনিয়া গ্যাসের অণুর সংখ্যার সমান। তাহলে 2ml হাইড্রোজেনের ভর কি 2ml অ্যামোনিয়ার ভরের সমান? [উঃ না]

18. এক গ্রাম-পরমাণু এবং এক মোল-পরমাণু একই তথ্য পরিবেশন করে একথার অর্থ কি? তাই যদি হয় তাহলে মোল-এককের কি প্রয়োজন?

19. মোল-এককের গুরুত্ব ও বৈশিষ্ট্য বিচার কর।

(B) গাণিতিক ঃ

1. অক্সিজেন অণুর গ্রাম-এককে পরম ওজন $53 \cdot 11 \times 10^{-24}$g হলে অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব কত? উঃ 31.999 [3.1 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

2. কার্বনের একটি পরমাণুর ভর $19{\cdot}92 \times 10^{-24}g$ হলে কার্বনের পারমাণবিক গুরুত্ব কত? উঃ 12 [3.11 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

3. যদি নাইট্রিক অ্যাসিডের অণুতে একটি হাইড্রোজেন পরমাণু, একটি নাইট্রোজেন পরমাণু এবং তিনটি অক্সিজেন পরমাণু থাকে তাহলে নাইট্রিক অ্যাসিডের আণবিক গুরুত্ব কত? উঃ 63·012 [3.2 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

4. এক অণু কষ্টিক সোডায় একটি করে সোডিয়াম, অক্সিজেন এবং হাইড্রোজেন পরমাণু আছে—এটির আণবিক গুরুত্ব কত? উঃ 39·98 amu ।

5. S. T. P-তে $2l$ অ্যামোনিয়ার ভর 1·52g হলে এই অ্যামোনিয়ার (i) ঘনত্ব এবং (ii) বাষ্পীয় ঘনত্ব নির্ণয় কর। উঃ (i) 0·00076g/cc (ii) 8·535 [3.3 নং ও 3.4 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

6. S. T. P-তে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব g 22·0 হলে এই গ্যাসের S. T. P-তে ঘনত্ব কত ? উঃ $1{\cdot}98 \times 10^{-3}$ g/cc

7. নিম্নলিখিত গ্যাসগুলির ভর নির্ণয় কর। এই গ্যাসগুলির আয়তন S. T. Pতে মাপা হয়েছে : (i) 960cc কার্বন ডাইঅক্সাইড, (ii) $3{\cdot}75l$ নাইট্রোজেন (iii) 251cc ক্লোরিন। উঃ (i) 1·89g, (ii) 4·69g এবং (iii) 0·796g [3.8 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

8. নিম্নলিখিত গ্যাসগুলির S. T. P-তে আয়তন নির্ণয় কর :

(i) 0·0446 মোল হাইড্রোজেন অণু, (ii) 7·598g ক্লোরিন, (iii) 1g নাইট্রোজেন। উঃ (i) $1l$, (ii) $4{\cdot}48l$, (iii) $0{\cdot}803l$ [3.9 নং এবং 3.7 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

9. এক আয়তন নাইট্রোজেন তিন আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে দুই আয়তন অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে—অ্যাভোগাড্রোর সূত্রের সাহায্যে দেখাও যে নাইট্রোজেনের পারমাণবিকতা নিশ্চিতরূপে যুগ্ম সংখ্যা।

10. ইথিলিনের প্রতি সংকেত-এককে একটি কার্বন-পরমাণু এবং দুইটি হাইড্রোজেন-পরমাণু আছে। ইথিলিনের S. T. P-তে ঘনত্ব $1{\cdot}25g/l$। ইথিলিনের আণবিক গুরুত্ব ও আণবিক সংকেত নির্ণয় কর। উঃ 28 amu এবং C_2H_4 [**3.6 (iv)** C নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

11. নীচের তথ্য থেকে নাইট্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

যৌগের নাম	ঘনত্ব (g/l)	ওজন হিসাবে নাইট্রোজেনের শতকরা সংযুতি
নাইট্রাস অক্সাইড	1·97	63·6
নাইট্রোজেন সেস্কুই অক্সাইড	3·39	36·9
নাইট্রিক অ্যান্হাইড্রাইড	4·82	36·9
হাইড্রাজিন	1·43	87·5
হাইড্রাজোয়িক অ্যাসিড	1·92	97·8

উঃ 14u [**3·6 (v) B** নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

12. S. T. P-তে $1l$ অক্সিজেন এবং $1l$ অ্যাসিটিলিনের ওজন যথাক্রমে 1·43g এবং 1·17g। অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব 32·0 amu হলে অ্যাসিটিলিনের আণবিক গুরুত্ব কত? উঃ 26·2 amu [অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুসারে S. T. P-তে উভয় গ্যাসের $1l$-এ অণুর সংখ্যা সমান। সুতরাং, গ্যাস দুইটির ভর বা ওজনের অনুপাত তাদের অণুর ওজনেরও অনুপাত। এই অনুপাত থেকে যে সাংখ্যিক মানটি পাওয়া যায় তাই দিয়ে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। $\frac{1 \cdot 17}{1 \cdot 43}=\frac{\text{অ্যাসিটিলিনের অণুর ভর}}{\text{অক্সিজেনের অণুর ভর}}$

$$=\frac{\text{অ্যাসিটিলিনের আণবিক গুরুত্ব}}{\text{অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব}}$$

∴ অ্যাসিটিলিনের আণবিক গুরুত্ব $=1 \cdot 17 \times 32 \cdot 0$ বা 26·2 amu

13. 75 গ্রাম-পরমাণু ইউরেনিয়ামের ভর কত? এতে কতগুলি ইউরেনিয়ামের পরমাণু আছে? ইউরোনিয়ামের পারমাণবিক গুরুত্ব 238·03u। উঃ $1 \cdot 785 \times 10^4$g এবং $4 \cdot 52 \times 10^{24}$

14. 10^{24}টি পরমাণু সমান কত গ্রাম-পরমাণু পদার্থ? উঃ 1·66 গ্রাম-পরমাণু [3.15 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

15. S. T. P-তে $11 \cdot 2l$ নাইট্রোজেনে কতগুলি নাইট্রোজেন-অণু আছে উঃ $3 \cdot 012 \times 10^{23}$

16. নীচের গ্যাসগুলির S. T. P-তে আয়তন কত?

(i) 2·1 মোল-অণু হাইড্রোজেন, (ii) 0·35 মোল-অণু নাইট্রিক অক্সাইড (iii) 6·55 মোল-অণু জলীয়বাষ্প। উঃ (i) $47 \cdot 04l$ (ii) $7 \cdot 8l$ (iii) $147l$

17. S. T. P-তে মাপা গ্যাসগুলির আয়তনে প্রত্যেকের কত মোল-অণু আছে লেখ: (a) $2 \cdot 48l$, (b) 125cc, (c) $0 \cdot 385l$,

উঃ (a) 0·111. (b) 0·00558, (c) 0·0172।

18. কোনো পদার্থের দুইটি অণু ঐ পদার্থের কত মোল-অণু?

উঃ $3 \cdot 32 \times 10^{-24}$ মোল-অণু।

19. *500lb* গ্লুকোজে কত মোল গ্লুকোজ আছে? গ্লুকোজের আণবিক গুরুত্ব $=180 \cdot 16$u উঃ 1260 মোল।

20. এক পাউণ্ড-পরমাণু অক্সিজেন সমান কত মোল-পরমাণু অক্সিজেন এবং কত মিলি-মোল-পরমাণু অক্সিজেন? উঃ 454×16 মোল-পরমাণু এবং $454 \times 16 \times 1000$ মিলি-মোল-পরমাণু অক্সিজেন।

21. 9·4 মোল C_2H_4 (ইথিলিন)-এর ভর কত? উঃ 264g।

22. এক পাউণ্ড-পরমাণু অক্সিজেন মানে কতগুলি অক্সিজেন পরমাণু? উঃ $2 \cdot 73 \times 10^{26}$

চতুর্থ অধ্যায়

রসায়নের সাংকেতিক ভাষা এবং রাসায়নিক গণনা

(Chemical abbreviations and chemical calculations)

4.1 সূচনা (Introduction) ঃ অল্প শ্রমে সুশৃঙ্খলভাবে বেশী পঠন-পাঠনের জন্য সাধারণতঃ সাংকেতিক ভাষার সৃষ্টি। রসায়নেও তাই চিহ্ন, সংকেত, সমীকরণ প্রভৃতি সাংকেতিক ভাষার ব্যবহার আছে। বিভিন্ন পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তনকে সাংকেতিক ভাষায় প্রকাশ করা যায় এবং তা থেকে পদার্থগুলির ভর এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন ও ভর নির্ণয় করা যায়। খাদ্য, ব্যবহার্য বস্তু-সামগ্রী, ঔষধপত্র ইত্যাদি যে-কোনো ব্যাপারের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট রাসায়নিক কাজে রাসায়নিক গণনা অপরিহার্য।

4.2 চিহ্ন বা প্রতীক (Symbol) ঃ একটি পরমাণু হিসাবে কোনো মৌলিক পদার্থকে যে সাংকেতিক ভাষায় প্রকাশ করা হয় তাকেই মৌলটির **চিহ্ন** বলে। সাধারণতঃ কোনো মৌলের ইংরাজী বা ল্যাটিন নামের প্রথম অক্ষরটি বড় হাতের হরফে লিখে মৌলটির চিহ্ন প্রকাশ করা হয়। যেমন Hydrogen-এর চিহ্ন হল H, আবার, Potassium-এর ল্যাটিন নাম Kalium অনুসারে এটির চিহ্ন K। যেখানে একাধিক মৌলের নামের প্রথম অক্ষর অভিন্ন সেখানে প্রথম অক্ষরটি বড় হাতের হরফে লিখে আর একটি অক্ষর (উচ্চারণের গুরুত্ব অনুযায়ী) তার পাশে ছোট হাতের হরফে লিখে মৌলগুলির ভিন্ন ভিন্ন চিহ্ন নির্দিষ্ট করা হয়েছে। মনে রাখতে হবে কোনো মৌলের চিহ্ন আমরা ইচ্ছে মতো লিখতে পারি না। রসায়নবিদদের আন্তর্জাতিক সম্মেলনে এগুলি স্থিরকৃত হয়। যেমন,

নাম	Aluminium	Argon	Argentinum (Silver)	Arsenic	Aurum (Gold)
চিহ্ন	Al	A বা Ar	Ag	As	Au

চিহ্নের গুরুত্ব ও সীমাবদ্ধতা (Significance and limitation of a symbol) ঃ মৌলের চিহ্নের **আঙ্গিক দিক** (Qualitative) ও **মাত্রিক দিক** (Quantitative) আছে। আঙ্গিক দিক থেকে কোনো মৌলের চিহ্ন কেবল সেই মৌলকেই বোঝায়। যেমন, Mg—ম্যাগনেসিয়াম নামে মৌলটিকে এবং H, হাইড্রোজেন নামে মৌলটিকে বোঝায়। মাত্রিক দিকে

মৌলের চিহ্ন বিভিন্ন ধরনের তথ্য প্রকাশ করে। যেমন, (i) পদার্থের আণবিক গঠন বোঝানোর জন্য যখন মৌলের চিহ্ন ব্যবহৃত হয় তখন তা মৌলটির একটি পরমাণুকে এবং এক পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ মৌলটিকে বোঝায়। জল-অণুর আণবিক গঠন H—O—H। এখানে একটি H হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুকে এবং এক পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থকে বোঝায়। অর্থাৎ 1·008 amu হাইড্রোজেনকে বোঝায়। আবার, $1{\cdot}67\times10^{-24}$g একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর বলে তাও H চিহ্নের দ্বারা প্রকাশিত হয়। (ii) ব্যবহারিক কাজে পরিমাণ নির্ধারণের জন্য মৌলের চিহ্ন এক গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ বা, এক গ্রাম-পরমাণুর পরিমাণ মৌলকে বোঝায়। আবার এক গ্রাম-পরমাণুর পরিমাণ মৌল মানে মৌলের এক মোল পরমাণু। সুতরাং চিহ্ন মৌলটির এক মোল পরমাণুকে বোঝায়। মৌলের এক গ্রাম-পরমাণুতে বা এক মোল পরমাণুতে মৌলটির $6{\cdot}023\times10^{23}$টি পরমাণু থাকে। কাজেই, ব্যবহারিক কাজে মৌলের চিহ্ন মৌলটির $6{\cdot}023\times10^{23}$টি পরমাণুকেও বোঝায়। সুতরাং, রাসায়নিক গণনার জন্য মৌলের H চিহ্নটি 1·008g ($1{\cdot}67\times10^{-24}$g $\times6{\cdot}023\times10^{23}$) হাইড্রোজেনকে, এক গ্রাম-পরমাণু হাইড্রোজেনকে, হাইড্রোজেনের 1 মোল পরমাণুকে এবং $6{\cdot}023\times10^{23}$টি হাইড্রোজেন পরমাণুকে প্রকাশ করে। অর্থাৎ বিভিন্ন মৌলের চিহ্ন বিভিন্ন ভরের মৌলকে প্রকাশ করলেও সমান সংখ্যক পরমাণুকে প্রকাশ করে। কোনো মৌলের চিহ্নের সাংখ্যিক সহগ যত হয় ঐ চিহ্নের দ্বারা প্রকাশিত মাত্রিক দিকগুলিও তত গুণ হয়। যেমন,

(i) পদার্থের গঠনের ক্ষেত্রে 2H = দুইটি হাইড্রোজেন পরমাণু
= দুই পারমাণবিক গুরুত্বের হাইড্রোজেন,
$=2\times1{\cdot}008$ amu হাইড্রোজেন বা $2\times1{\cdot}67\times10^{-24}$g হাইড্রোজেন।

(ii) ব্যবহারিক ক্ষেত্রে 2H = 2 মোল হাইড্রোজেন পরমাণু,
$=2\times6{\cdot}023\times10^{23}$ বা $12{\cdot}046\times10^{23}$ টি হাইড্রোজেন পরমাণু,
= 2 গ্রাম-পরমাণু হাইড্রোজেন,
$=2\times1{\cdot}008$g বা 2·016g হাইড্রোজেন।

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে 2N
$=2\times6{\cdot}023\times10^{23}$টি নাইট্রোজেন পরমাণু = 2 মোল নাইট্রোজেন পরমাণু
= 2 গ্রাম-পরমাণু নাইট্রোজেন

$=2\times14{\cdot}006g$ বা $28{\cdot}012g$ নাইট্রোজেন

সুতরাং, 2H-এ হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা=2N-এ নাইট্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা। কিন্তু 2H-এ হাইড্রোজেনের ভর$\neq$2N-এ নাইট্রোজেনের ভর।

কোনো মৌলের চিহ্ন সেই মৌলের ভৌত বা রাসায়নিক কোনোরূপ ধর্ম প্রকাশ করে না। এটিই চিহ্নের সীমাবদ্ধতা।

4.1 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·5 গ্রাম-পরমাণু কার্বনের ভর কত?

সমাধান ঃ এক গ্রাম-পরমাণু বা এক মোল কার্বন পরমাণুর

ভর$=12{\cdot}011g$

$\therefore$ 0·5 গ্রাম-পরমাণু কার্বনের ভর$=0{\cdot}5\times12{\cdot}011$ বা $6{\cdot}0055g$

4.3 সংকেত (Formula) ঃ যে সাংকেতিক ভাষায় মৌলের বা যৌগের একটি অণুকে প্রকাশ করা হয় তাকেই মৌলের বা যৌগের **সংকেত বলে।** একটি মৌলের সংকেত লিখতে হলে মৌলটির চিহ্নের ডান পাশে নীচের অংশে তার পারমাণবিকতা সংখ্যায় ছোট আকারে লিখতে হয়। যেমন, অক্সিজেন অণুর পারমাণবিকতা দুই। অর্থাৎ অক্সিজেনের একটি অণুতে দুইটি অক্সিজেন পরমাণু আছে। কাজেই, অক্সিজেনের সংকেত O_2 ; অনুরূপভাবে, ক্লোরিনের সংকেত Cl_2। কতকগুলি মৌলের অণুর পারমাণবিকতা এক। সুতরাং এদের চিহ্ন ও সংকেত অবশ্যই এক এবং অভিন্ন। যেমন, কার্বনের চিহ্ন ও সংকেত উভয়ই—C। অনুরূপভাবে, Mg হল ম্যাগনেসিয়ামের চিহ্ন ও সংকেত।

যৌগিক পদার্থের সংকেত তিন রকমভাবে প্রকাশ করা যায় ঃ (ক) আণবিক সংকেত, (খ) স্থূল সংকেত এবং (গ) গঠন ভিত্তিক সংকেত।

(ক) আণবিক সংকেত (Molecular formula) ঃ যৌগিক পদার্থের যে সংকেতের দ্বারায় যৌগটির একটি অণুতে বিভিন্ন মৌলিক উপাদানগুলির প্রকৃত (Actual) পরমাণুর সংখ্যা প্রকাশিত হয় তাকেই যৌগটির **আণবিক সংকেত বলে।** যৌগিক পদার্থের সংকেত প্রকাশের সময় সাধারণতঃ যে মৌলটি বেশী ধাতবধর্মী তার চিহ্ন আগে লিখে তার ডান পাশে কম ধাতবধর্মী মৌলটির চিহ্ন লেখা হয় (অধাতু ও হাইড্রোজেনের দ্বিমৌলিক যৌগের ক্ষেত্রে সবসময় এই নিয়ম প্রচলিত নয়)। তারপর প্রতিটি মৌলের যতগুলি পরমাণু যৌগটির একটি অণুতে আছে তা সংখ্যায় মৌলটির চিহ্নের ডান পাশে নীচের অংশে ছোট আকারে লিখতে হয়। যেমন, কার্বন ডাইঅক্সাইডের একটি অণুতে কার্বনের একটি পরমাণু এবং অক্সিজেনের দুইটি

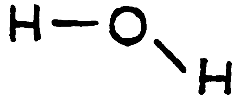
পরমাণু আছে। আবার, কার্বন অপেক্ষা অক্সিজেন কম ধাতবধর্মী। সুতরাং, কার্বন ডাইঅক্সাইডের সংকেত—CO_2।

(খ) স্থূল সংকেত (Empirical formula) ঃ অনেকক্ষেত্রেই যৌগিক পদার্থের আণবিক গঠন জটিল হয়। এইসব ক্ষেত্রে যৌগের একটি অণুর মধ্যে বিভিন্ন পরমাণুগুলি যে সরলতম সাংখ্যিক অনুপাতে থাকে সেই অনুপাত অনুযায়ী প্রকাশিত যৌগের সংকেতকে তার **স্থূল সংকেত বা সংকেত-একক (formula unit) বলে।** যেমন, ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের একটি অণুতে প্রকৃতপক্ষে 4টি ফসফরাস পরমাণু ও 10 টি অক্সিজেন পরমাণু থাকে। সুতরাং, এটির আণবিক সংকেত P_4O_{10} হওয়া উচিত। কিন্তু এটিকে প্রকশ করা হয় P_2O_5 দ্বারা। অতএব, P_2O_5—ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের স্থূল সংকেত বা সংকেত-একক। কারণ এক অণু ফসফরাস্ পেণ্টক্সাইডে P ঃ O=4 ঃ 10 বা 2 ঃ 5। এই জন্য কোনো যৌগের অণুর নির্দিষ্ট সংযুতি (Composition) না জানা থাকলে তার সংকেতকে আণবিক সংকেত না বলে সংকেত-একক বলাই ভাল। সংকেত-একক লেখার পদ্ধতি আণবিক সংকেত লেখার পদ্ধতির অনুরূপ।

(গ) গঠনভিত্তিক সংকেত (Structural formula) ঃ যে আণবিক সংকেতের দ্বারা কোনো পদার্থের অণুর মধ্যে যে-সমস্ত পরমাণু থাকে সেগুলির কোন্‌টি কি ভাবে অন্য পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত তা প্রকাশিত হয় তাকে পদার্থের **গঠনভিত্তিক সংকেত বলে।** যেমন, জল-অণুর গঠনভিত্তিক সংকেত হল 4.3.1 নং চিত্র। গঠন ভিত্তিক সংকেতের দ্বারা পদার্থের বিভিন্ন ধর্ম পর্যালোচনা করা যায়।



4.3. 2 নং চিত্র



4. 3. 1 নং চিত্র

যে-কোনো পদার্থের তিন রকমের সংকেতের ব্যবহার দেখা যায়। যেমন, বেঞ্জিনের স্থূল সংকেত—CH, আণবিক সংকেত C_6H_6 এবং গঠনভিত্তিক সংকেত (উপরে 4.3.2 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে)।

সংকেতের গুরুত্ব এবং সীমাবদ্ধতা (Significance and limitation of formula) ঃ স্থিরানুপাত সূত্র হল পদার্থের সংকেত প্রকাশের

ভিত্তি। তাই একটি নির্দিষ্ট রাসায়নিক পদার্থের সংকেতও নির্দিষ্ট। যে-ব্যাপারেই জল অণুর সংকেত লেখা হোক না কেন তা সব সময়ই H_2O হবেই। এই কারণেই সংকেতের আঙ্গিক দিক ছাড়াও মাত্রিক দিক আছে। আঙ্গিক দিক থেকে এটি নির্দিষ্ট একটি পদার্থকে বোঝায় এবং কোন্ কোন্ মৌলের সংযোগে পদার্থটি গঠিত তাও বোঝায়। মাত্রিক দিক থেকে সংকেতের গুরুত্ব দুই রকমভাবে আলোচনা করা যায় : (1) কোনো পদার্থের সংকেত তার একটি অণুকে এবং এক সংকেত-গুরুত্বের বা আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থকে বোঝায়। প্রত্যেকটি মৌলের কতগুলি পরমাণু পদার্থের একটি অণুতে বা সংকেত-এককে আছে তা সংকেতটি প্রকাশ করে। প্রত্যেকটি মৌলের কত পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থ ঐ সংকেত-এককে আছে তাও সংকেত-এককের দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(2) **ব্যবহারিক কাজে পদার্থটির পরিমাণ নির্ধারণের** জন্য সংকেত-একক এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের বা এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ পদার্থকে বোঝায় ; সংক্ষেপে এক গ্রাম-অণু বা এক গ্রাম-সংকেত-একক পদার্থকে বোঝায়। অন্যভাবে বলা যায় যে, পদার্থের সংকেত এক মোল অণু বা এক মোল সংকেত-একক পদার্থকে প্রকাশ করে। আবার, একইভাবে পদার্থের সংকেত তার $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি অণুকে বা সংকেত-একককে প্রকাশ করে। কাজেই, পদার্থের সংকেত তার এক মোল-অণুতে বা এক গ্রাম-অণুতে প্রত্যেকটি মৌলিক উপাদান কতগ্রাম-পরমাণু বা কত মোল পরমাণু হিসেবে আছে তাও বোঝায়। বস্তুতঃ যে-কোনো সংকেতে বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর সংখ্যা আর মৌলগুলির গ্রাম-পরমাণুর বা মোল পরমাণুর সংখ্যা সমান হয়। তাই যৌগের সংকেতে মৌলিক উপাদানগুলির পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত=পরমাণুর মোল অনুপাত। সুতরাং, H_2 সংকেতটি হাইড্রোজেনের একটি অণুকে বোঝায়, এক আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ হাইড্রোজেনকে বোঝায়। H_2 সংকেতটিতে দুইটি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। দুই পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ, $2 \times 1{\cdot}008$ amu পরিমাণ এবং $2 \times 1{\cdot}67 \times 10^{-24}$g হাইড্রোজেন আছে। অনুরূপভাবে O_2= একটি অক্সিজেন অণু বা এক আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ অক্সিজেন =$31{\cdot}9988$ amu অক্সিজেন=$53{\cdot}44 \times 10^{-24}$g অক্সিজেন। O_2 সংকেতে দুইটি অক্সিজেন পরমাণু আছে, দুই পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণ, $2 \times 26{\cdot}73 \times 10^{-24}$g পরিমাণ বা $2 \times 15{\cdot}9994$ amu পরিমাণ অক্সিজেন

আছে। একইভাবে, আণবিক গঠনের ক্ষেত্রে H_2O=এক অণু জল বা এক আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ জল=18·01 amu জল=$30·07\times10^{-24}$g জল।

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে H_2=1 গ্রাম-অণু হাইড্রোজেন বা 1 মোলঅণু হাইড্রোজেন=2·016g হাইড্রোজেন, বা, $6·023\times10^{23}$টি হাইড্রোজেন অণু

1 মোল অণু হাইড্রোজেনে 2 মোল পরমাণু হাইড্রোজেন আছে,
2 গ্রাম-পরমাণু হাইড্রোজেন আছে
এবং $2\times6·023\times10^{23}$টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে।

অনুরূপভাবে, O_2=1 গ্রাম-অণু বা 1 মোলঅণু অক্সিজেন
=31·9988g অক্সিজেন, বা,
$6·023\times10^{23}$টি অক্সিজেন অণু।

1 মোল অণু অক্সিজেনে 2 মোল পরমাণু অক্সিজেন আছে,
2 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন আছে
এবং $2\times6·023\times10^{23}$ টি অক্সিজেন পরমাণু আছে।

একইভাবে, H_2O=1 গ্রাম-অণু জল বা 1 মোলঅণু জল।
=18·01g জল বা $6·023\times10^{23}$টি জল অণু।

1 মোল অণু জলে 2 মোল পরমাণু হাইড্রোজেন ও 1 মোল পরমাণু অক্সিজেন আছে, 2 গ্রাম-পরমাণু হাইড্রোজেন ও 1 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন আছে, এবং $2\times6·023\times10^{23}$টি হাইড্রোজেন পরমাণু ও $6·023\times10^{23}$টি অক্সিজেন পরমাণু আছে। অতএব, জলের সংকেত থেকে জানা যায়,

$$\frac{1}{2}=\frac{\text{অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা}}{\text{হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা}}=\frac{\text{অক্সিজেন পরমাণুর মোল-সংখ্যা}}{\text{হাইড্রোজেন পরমাণুর মোল-সংখ্যা}}$$
$$=\frac{\text{অক্সিজেনের গ্রাম-পরমাণু-সংখ্যা}}{\text{হাইড্রোজেনের গ্রাম-পরমাণু-সংখ্যা}}$$

$$\text{আবার,}\ \frac{1\ \text{মোল O}}{2\ \text{মোল H}}=\frac{15·999g}{2·016g}=\frac{8}{1}\ (\text{প্রায়})$$

অর্থাৎ, মৌলিক উপাদানগুলির মোলীয় অনুপাত থেকে আমরা ওজন-ভিত্তিক অনুপাত পাই। এই অনুপাত থেকে বিভিন্ন রকমের রাসায়নিক গণনা করা যায়। আবার, আমরা জানি স্থিরানুপাত সূত্রানুসারে জলে অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের ওজন-ভিত্তিক অনুপাত 8:1 হয়। উপরিউক্ত গণনা থেকে জলের সংকেতেও তা দেখা যাচ্ছে। সুতরাং, রাসায়নিক পদার্থের সংকেত স্থিরানুপাত সূত্রের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত।

যদি কোনো সংকেত-এককের সঙ্গে 1, 2, 3 ইত্যাদি কোনো সংখ্যা সহগ হিসাবে থাকে তাহলে উপরিউক্ত প্রত্যেকটি তথ্যের মানকে ঐ সহগটি দিয়ে গুণ করে সহগ সহ সংকেত-এককের বিভিন্ন তথ্যের মান পাওয়া যায়।

যৌগ বা মৌলের সংকেত তার কোনো ভৌত বা রাসায়নিক ধর্মের পরিচয় দেয় না। এটিই সংকেতের সীমাবদ্ধতা।

মোল-এককের সাহায্যে সংকেত-একক থেকে বিভিন্ন রাসায়নিক গণনার নিয়মাবলী ঃ কোনো সংকেত-এককের মোল-সংখ্যা যদি y হয় তাহলে,

[a] y মোল সংকেত-একক $= y \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি সংকেত-একক।

[b] y মোল সংকেত-এককে কোনো মৌলিক উপাদানের পরমাণুর সংখ্যা $= y \times 5{\cdot}023 \times 10^{23} \times$ প্রতি সংকেত-এককে মৌলের পরমাণুর সংখ্যা।

[c] y মোল সংকেত-এককে কোনো মৌলের গ্রাম-পরমাণুর সংখ্যা $= y \times$ প্রতি সংকেত-এককে পরমাণুটির সংখ্যা।

[d] y মোল সংকেত-এককে কোনো মৌলের গ্রামে ওজন $= y \times$ প্রতি সংকেত-এককে পরমাণুটির সংখ্যা $\times$ মৌলের গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব

4.2 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·25 মোল CO_2-এ কতগুলি CO_2 অণু আছে?

সমাধান ঃ [a] নং নিয়মানুযায়ী, 0·25 মোল CO_2-এ অণুর সংখ্যা $= 0{\cdot}25 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ বা $1{\cdot}5057 \times 10^{23}$টি

4.3 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·5 মোল NaCl-এ কতগুলি ক্লোরিন পরমাণু আছে?

সমাধান ঃ [b] নং নিয়মানুযায়ী, 0·5 মোল NaCl-এ ক্লোরিন পরমাণুর সংখ্যা $= 0{\cdot}5 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23} \times 1$ বা $3{\cdot}0115 \times 10^{23}$টি

4.4 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 1·5 মোল $CaCO_3$-তে কত গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন আছে?

সমাধান ঃ [c] নং নিয়মানুসারে, 1·5 মোল $CaCO_3$-তে অক্সিজেনের গ্রাম-পরমাণুর সংখ্যা $= 1{\cdot}5 \times 3$ বা 4·5।

4.5 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 1·5 মোল $CaCO_3$-তে কতগ্রাম অক্সিজেন আছে?

সমাধান ঃ [d] নং নিয়মানুসারে, 1·5 মোল $CaCO_3$-তে অক্সিজেনের গ্রাম-এককে পরিমাণ $= 1{\cdot}5 \times 3 \times 15{\cdot}9994g$ বা $71{\cdot}9973g$

4.6 নং গাণিতিক উদাহরণ : 5 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন কত মোল $NaNO_3$-তে আছে ?

সমাধান : 1 মোল $NaNO_3$-তে আছে 3 মোল অক্সিজেন পরমাণু বা, 3 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন। অর্থাৎ 3 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন আছে 1 মোল $NaNO_3$-তে। বা, 1 গ্রাম-পরমাণু আছে $\frac{1}{3}$ মোল $NaNO_3$-তে

বা, 5 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন আছে $\frac{5}{3}$ মোল $NaNO_3$-তে

4.7 নং গাণিতিক উদাহরণ : 80g অক্সিজেন কত গ্রাম $NaNO_3$,-তে আছে।

সমাধান : 80g অক্সিজেন$=\frac{80}{16}$ বা, 5 মোল অক্সিজেন পরমাণু।

5 মোল O আছে $\frac{5}{3}$ মোল $NaNO_3$-তে।

আবার, 1 মোল $NaNO_3=84{\cdot}9830g\ NaNO_3$

$\therefore$ $\frac{5}{3}$ মোল $NaNO_3=\frac{5}{3}\times84{\cdot}9830g$ বা $141{\cdot}640g$

কাজেই, 80g অক্সিজেন আছে $141{\cdot}640g\ NaNO_3$-তে।

স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেতের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between empirical and molecular formula) : আণবিক সংকেত হল স্থূল সংকেতের একটি সাংখ্যিক গুণিতক মাত্রা। তাই, স্থূল সংকেত-গুরুত্বের দ্বারা আণবিক গুরুত্বকে ভাগ করলে সাংখ্যিক গুণিতকটি পাওয়া যায়। ফলে স্থূল সংকেত এবং আণবিক গুরুত্ব জানা থাকলে আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যায়। এই সাংখ্যিক গুণিতকটি যখন 1 হয় তখন যৌগের স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেত সমান হয়।

4.8 নং গাণিতিক উদাহরণ : হাইড্রোজেন পার-অক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব 34·0148 এবং স্থূল সংকেত HO হলে এটির আণবিক সংকেত কি ?

সমাধান : ধরি সাংখ্যিক গুণিতকটি$=x$। এখন HO-এর সংকেত গুরুত্ব, 17·0074। $\therefore x=\frac{34{\cdot}0148}{17{\cdot}0074}$ বা, $x=2$। $\therefore$ নির্ণেয় আণবিক সংকেত H_2O_2

4.4 যোজ্যতা (Valency) : একাধিক মৌলিক পদার্থ রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে সংযুক্ত হয় এবং যৌগিক পদার্থ গঠন করে। প্রকৃতপক্ষে মৌলগুলির পরমাণুর রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে। একটি মৌলের পরমাণুর অন্য মৌলের পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠনের ক্ষমতাকেই **যোজ্যতা** বলে। হাইড্রোজেনের আপেক্ষিকেই অন্য মৌলের যোজ্যতা মাপা হয়। হাইড্রোজেনের যোজ্যতাকে এক ধরে কোনো মৌলের একটি পরমাণু হাইড্রোজেনের যতগুলি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে সেই সংখ্যাই মৌলটির

যোজ্যতার পরিমাপ। ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের প্রত্যেকের একটি করে পরমাণু হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। সুতরাং, এগুলির প্রত্যেকের যোজ্যতা 1। আবার, অক্সিজেন এবং সালফার আলাদাভাবে 2টি হাইড্রোজেনের পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। সুতরাং, অক্সিজেন ও সালফারের যোজ্যতা 2। অনুরূপভাবে, নাইট্রোজেন পরমাণু তিনটি হাইড্রোজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। সুতরাং, নাইট্রোজেনের যোজ্যতা 3। যে-সমস্ত মৌল হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় না অথচ ক্লোরিনের পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় সেগুলির বেলায় কোনো মৌলের একটি পরমাণু যতগুলি ক্লোরিন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় তাই মৌলটির যোজ্যতা। যেমন, একটি ফসফরাস পরমাণু পাঁচটি ক্লোরিন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। সুতরাং, ফসফরাসের যোজ্যতা 5। অক্সিজেনের যোজ্যতা দুই বলে যখন কোনো মৌলের একটি পরমাণু অক্সিজেনের একটি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় তখন মৌলটির যোজ্যতা হয় 2। অনুরূপভাবে, দুটি বা তিনটি অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হলে মৌলের যোজ্যতা 2×2 বা 2×3 অর্থাৎ 4 বা 6 হয়। কার্বন ডাইঅক্সাইডে কার্বনের যোজ্যতা $2 \times 2 = 4$।

বিভিন্ন যৌগে একই মৌলের যোজ্যতা ভিন্ন ভিন্ন হতে পারে। যেমন, সালফার ও অক্সিজেন মিলে SO_2 এবং SO_3 গঠন করে। সালফার ডাই-অক্সাইডে সালফারের যোজ্যতা 4 কিন্তু SO_3-তে সালফারের যোজ্যতা 6।

ফেরাস ক্লোরাইড—$FeCl_2$ এবং ফেরিক ক্লোরাইড—$FeCl_3$। লোহার এই যৌগ দুটিতে লোহার যোজ্যতা যথাক্রমে 2 ও 3।

যদি কোনো মৌলের যোজ্যতা 'n' বলা হয় তাহলে বুঝতে হবে মৌলটির একটি পরমাণু 'n' সংখ্যক হাইড্রোজেন বা ক্লোরিন পরমাণুর সঙ্গে অথবা $\frac{n}{2}$ সংখ্যক অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতা রাখে।

বিভিন্ন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার জন্য কোনো মৌলের একটি পরমাণুর যতগুলি ইলেকট্রন অংশ গ্রহণ করে সেই সংখ্যাকে মৌলটির যোজ্যতা বলে। **এটি যোজ্যতার আধুনিক সংজ্ঞার্থ**। এই সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী হাইড্রোজেনের যোজ্যতা এক বলতে বুঝি যে, অন্য পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অণু গঠনের সময় হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর একটি ইলেকট্রন অংশ গ্রহণ করে। সুতরাং, যে মৌলের পরমাণুর 'n' সংখ্যক ইলেকট্রন অণু গঠনে অংশ গ্রহণ করে সেই মৌলের যোজ্যতা 'n' হয়। প্রসঙ্গক্রমে উল্লেখ্য যে, পরমাণুর শেষ কক্ষের ইলেকট্রন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে।

সাধারণতঃ হাইড্রোজেন ও ধাতুগুলি যৌগিক অণু গঠনকালে প্রত্যেকের শেষ কক্ষ থেকে ইলেক্‌ট্রন ত্যাগ করে বলে এদের যোজ্যতাকে পজিটিভ যোজ্যতা এবং অধাতুগুলি যৌগিক অণু গঠনকালে শেষকক্ষে ইলেক্‌ট্রন গ্রহণ করে বলে এগুলির যোজ্যতাকে নেগেটিভ যোজ্যতা বলে। যোজ্যতা কখনও ভগ্নাংশ হয় না (See end of the book for valencies and atomic weights of the chemical elements)।

4.5 মূলক (Radicals): যখন একাধিক মৌলের কতকগুলি পরমাণু একত্রে থেকে একটি পরমাণুর মতো ব্যবহার করে এবং একটি সম্পূর্ণ একক হিসাবে রাসায়নিক পরিবর্তনে অংশ গ্রহণ করে তখন সেই পরমাণু-গুচ্ছকে **মূলক** বলে। নিশাদলের সংকেত—NH_4Cl এখানে NH_4—একটি মূলক। এটির নাম অ্যামোনিয়াম মূলক। এই মূলকের যোজ্যতা 1।

একযোজী মূলকের নাম ও সংকেত

অ্যামোনিয়াম—NH_4
হাইড্রক্সিল —OH
নাইট্রেট —NO_3
নাইট্রাইট —NO_2
বাইসালফেট —HSO_4
বাইসালফাইট —HSO_3
বাইকার্বনেট —HCO_3
ক্লোরেট —ClO_3
পারমাঙ্গানেট —MnO_4

দ্বিযোজী মূলকের নাম ও সংকেত

থায়োসালফেট —S_2O_3
সালফেট —SO_4
সালফাইট —SO_3
কার্বনেট —CO_3
ডাইক্রোমেট —Cr_2O_7
ক্রোমেট —CrO_4

ত্রিযোজী মূলকের নাম ও সংকেত

আর্সেনেট —AsO_4
আর্সেনাইট —AsO_3
ফসফেট —PO_4
বোরেট —BO_3

4.6 যৌগিক পদার্থের নামকরণ (Nomenclature of compounds): দুইটি মৌলিক পদার্থ দিয়ে যে-সমস্ত যৌগ গঠিত তাদের দ্বি-মৌলিক যৌগ বলে। দ্বি-মৌলিক যৌগে সাধারণতঃ একটি ধাতু আর একটি অধাতু অথবা দুইটিই অধাতু থাকে। এদের নামকরণের সময় বেশী ধাতবধর্মী অর্থাৎ কম অধাতবধর্মী মৌলের নাম আগে লিখে পরে কম ধাতবধর্মী অর্থাৎ বেশী অধাতব ধর্মী মৌলের নাম সংক্ষেপে লিখে 'আইড' কথাটি যোগ করতে হয়। যেমন, হাইড্রোজেন ও সালফারের দ্বি-মৌলিক যৌগের নাম—

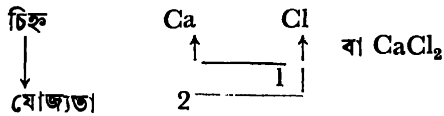
হাইড্রোজেন+সালফ+আইড=হাইড্রোজেন সালফাইড। তেমনি, সোডিয়াম ও ক্লোরিনের যৌগ হল সোডিয়াম ক্লোরাইড (সোডিয়াম+ক্লোর+আইড)।

দুটি মৌলিক পদার্থ অনেক সময় একাধিক যৌগ গঠন করে। এই সমস্ত ক্ষেত্রে সাধারণতঃ ধাতু দুরকম যৌগে তার দুরকম যোজ্যতা প্রকাশ করে। যে যৌগে ধাতুর যোজ্যতা কম সেই যৌগের নাম লেখার সময় ধাতুর নামের শেষে 'আস' কথাটি যোগ করতে হয় এবং যে যৌগে ধাতুটি বেশী যোজ্যতা দেখায় তার নামকরণের সময় একইভাবে ধাতুর নামের শেষে 'ইক' কথাটি যোগ করতে হয়। যেমন, কপার (লাটিন নাম কিউপ্রাম) ও ক্লোরিনের দুটি যৌগ আছে। কপারের যোজ্যতা 1 এবং 2। সুতরাং, যে যৌগটিতে কপারের যোজ্যতা 1 তার নাম হবে কিউপ্রাস ক্লোরাইড এবং অন্যটির নাম কিউপ্রিক ক্লোরাইড। অনেক সময় একটি যৌগস্থিত কোনো অধাতুর পরমাণুর সংখ্যা ঐ যৌগের নামকরণে নির্দিষ্ট করে বলে দিতে হয়। যেমন, কার্বন ও অক্সিজেনের দুটি যৌগ আছে। তাদের মধ্যে যে যৌগে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা দুই তার নাম কার্বন ডাইঅক্সাইড আর যেটিতে একটি অক্সিজেন পরমাণু আছে সেটির নাম কার্বন মনোক্সাইড। একইভাবে ফসফরাস ও অক্সিজেনের দুটি যৌগের নাম যথাক্রমে ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড ও ফসফরাস পেণ্টক্সাইড।

ত্রিমৌলিক বা বহু মৌলিক যৌগে সাধারণতঃ একটি মৌল আর একটি মূলক থাকে। এই দুটির মধ্যে যেটি বেশী ধাতবধর্মী তার নাম আগে লিখতে হয়। মৌলটি বেশী ধাতবধর্মী হলে এটির নামের সঙ্গে মূলকের নাম জুড়ে দিলেই যৌগের নাম হয়। যেমন, সোডিয়াম, অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের একটি যৌগের নাম সোডিয়াম নাইট্রেট। কারণ এই যৌগে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন নাইট্রেট মূলক হিসাবে থাকে। মূলকটি যদি অ্যামোনিয়াম মূলক হয় তাহলে তার নাম আগে লিখে মৌলটির নাম সংক্ষেপে লিখে 'আইড' কথাটি যুক্ত করতে হয়। যেমন, অ্যামোনিয়াম ব্রোমাইড (অ্যামোনিয়াম+ব্রোম+আইড)। যৌগিক পদার্থের নামকরণের আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে ধাতুর নামের পাশে প্রথম বন্ধনীর মধ্যে তার জারণ-সংখ্যা (7.5 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) লিখে দেওয়া হয়। যেমন, কপার (II) অক্সাইড হল কিউপ্রিক অক্সাইড এবং কপার (I) অক্সাইড হল কিউপ্রাস অক্সাইড।

4.7 যৌগের সংকেত লেখার পদ্ধতি (Method of writing

formula of a compound)ঃ যৌগের নামানুসারে মৌলের চিহ্ন বা মূলকের সংকেত পাশাপাশি লিখতে হয়। এখন প্রত্যেক মৌলের বা মূলকের যোজ্যতা অন্য মৌল বা মূলকটির চিহ্ন বা সংকেতের ডান পাশে নীচের অংশে ছোট্ট করে লিখে যৌগের সংকেত প্রকাশ করা হয়। কোনো মৌল বা মূলকের যোজ্যতা 1 হলে সেটি অন্য মৌল বা মূলকের ডান পাশে লিখে দেখানোর দরকার নেই। যেমন, ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের সংকেত হবে—



অনুরূপভাবে, পটাসিয়াম কার্বনেটের সংকেত—K_2CO_3

কোনো যৌগে একই মূলক একাধিক সংখ্যায় থাকলে মূলকটির সংকেত প্রথম বন্ধনীর মধ্যে লিখতে হয়। যেমন, ম্যাগনেসিয়াম ফসফেট—$Mg_3(PO_4)_2$। যখন যৌগের দুইটি অংশের যোজ্যতায় একটি সাধারণ উৎপাদক থাকে তখন ঐ সাধারণ উৎপাদক দিয়ে উভয়ের যোজ্যতাকে ভাগ করে ভাগফলগুলিকে যোজ্যতা ধরে যৌগের সংকেত গঠন করা হয়। দস্তা ও সালফেট মূলকের যোজ্যতা দুই। সুতরাং, উভয়ের যোজ্যতায় দুই হল সাধারণ উৎপাদক। অতএব, জিঙ্কসালফেট-এর সংকেত $Zn_2(SO_4)_2$-এর পরিবর্তে $ZnSO_4$ হবে। অনুরূপভাবে, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংকেত CO_2, C_2O_4 নয়।

4.8. রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reaction)ঃ এক বা একাধিক পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তনকে **রাসায়নিক বিক্রিয়া** বলে। যে-সমস্ত পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে সেগুলিকে **বিক্রিয়ক** বলে এবং রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে উদ্ভূত নতুন পদার্থগুলিকে **বিক্রিয়াজাত পদার্থ** বলে।

অক্সিজেন গ্যাসে কার্বনের দহনের ফলে কার্বন-ডাই-অক্সাইড গঠিত হয়। এখানে কার্বন ও অক্সিজেন বিক্রিয়ক এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিক্রিয়াজাত পদার্থ। কার্বন + অক্সিজেন = কার্বন-ডাই-অক্সাইড

(বিক্রিয়ক) (বিক্রিয়াজাত পদার্থ)

রাসায়নিক সমীকরণ (Chemical equation)ঃ যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াকে সমীকরণ আকারে প্রকাশ করা যায়। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়াকে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণু অর্থাৎ

সংকেতের দ্বারা সমীকরণ আকারে প্রকাশ করাকেই **রাসায়নিক সমীকরণ বলে।**

সমীকরণ কথার অর্থ হল সমানকরণ। ভরের নিত্যতা সূত্রানুসারে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির অণুতে বিভিন্ন পরমাণুর সংখ্যাকে অর্থাৎ ভরকে সমান করা হয়। শক্তির নিত্যতা সাধারণ ভাবে রাসায়নিক সমীকরণে প্রকাশ করা হয় না।

সমীকরণ লেখার পদ্ধতি (Method of writing chemical equation): কোন্ পদার্থ বিক্রিয়ক আর কারাই বা বিক্রিয়াজাত পদার্থ তা জানার পর (1) বিক্রিয়কগুলিকে যোগ চিহ্নের সাহায্যে যুক্ত করে সমান চিহ্নের (=) বাঁদিকে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলিকে যোগ চিহ্নের সাহায্যে সংযুক্ত করে সমান চিহ্নের ডানদিকে প্রত্যেকের সংকেতের দ্বারা লিখতে হয়। এখানে '+' (যোগ) চিহ্নের অর্থ "এবং" আর "=" চিহ্নের অর্থ "রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বারা"। (2) এইভাবে লেখার পর যদি দেখা যায় যে, '=' চিহ্নের উভয়দিকের বিভিন্ন অণুস্থিত পরমাণুর সংখ্যা সমান হয়নি তখন বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলিকে পূর্ণ সংখ্যার দ্বারা গুণ করে সমান করতে হয়। ফলে বিক্রিয়কগুলির মোট ভর ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট ভর সমান হয়।

রাসায়নিক সমীকরণে মৌলের চিহ্ন ব্যবহৃত হয় না। যদিও এক-পারমাণবিক অণুর চিহ্ন ও সংকেত অভিন্ন তথাপি রাসায়নিক সমীকরণে এক-পারমাণবিক অণুকে অণুই বলতে হবে। অর্থাৎ মৌলের সেটি সংকেত হবে, চিহ্ন নয়। কারণ পরমাণুর স্বাধীন সত্তা নেই তাই সমীকরণে স্বাধীন-ভাবে পরমাণুর প্রকাশ রীতি বিরুদ্ধ।

উদাহরণঃ নাইট্রোজেন 'এবং' হাইড্রোজেনের "রাসায়নিক বিক্রিয়ায়" অ্যামোনিয়া গঠিত হয়।

প্রথমধাপ ঃ নাইট্রোজেন+হাইড্রোজেন=অ্যামোনিয়া।

দ্বিতীয়ধাপ ঃ নাইট্রোজেন, হাইড্রোজেন ও অ্যামোনিয়ার সংকেত যথাক্রমে, N_2,H_2 ও NH_3। সুতরাং, $N_2+H_2=NH_3$। এখান থেকে দেখা যাচ্ছে যে, বিক্রিয়কের দিকে 2টি নাইট্রোজেন এবং 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে কিন্তু বিক্রিয়াজাত পদার্থে একটি নাইট্রোজেন পরমাণু এবং তিনটি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে।

তৃতীয়ধাপ ঃ '=' চিহ্নের উভয় দিকে নাইট্রোজেন পরমাণুর সংখ্যার

সমতা আনার জন্য অ্যামোনিয়ার অণুকে 2 দিয়ে গুণ করে লেখা যায়ঃ $N_2+H_2=2NH_3$। এখন দেখা যাচ্ছে যে, বিক্রিয়াজাত পদার্থের দিকে 6টি এবং বিক্রিয়কের দিকে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। তাই হাইড্রোজেন পরমাণুর সমতা আনার জন্য হাইড্রোজেন অণুকে 3 দিয়ে গুণ করা দরকার। অর্থাৎ, প্রদত্ত বিক্রিয়ার সম্পূর্ণ সমীকরণ হলঃ $N_2+3H_2=2NH_3$

রাসায়নিক সমীকরণের গুরুত্ব ও সীমাবদ্ধতা (Significance and limitations of a chemical equation)ঃ যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণে রাসায়নিক সংযোগ সূত্রগুলি প্রকাশিত হয়। যেমন,

(1) রাসায়নিক সমীকরণে ভরের নিত্যতা সূত্রকে প্রয়োগ করা হয় বলেই বিক্রিয়কগুলির মোট ভর এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট ভর সমান করা হয়। রাসায়নিক পরিবর্তনে পদার্থের শক্তিতে রূপান্তর অত্যন্ত নগণ্য পরিমানে হয় বলে ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র সাধারণতঃ প্রযুক্ত হয় না।

(2) রাসায়নিক সমীকরণে পদার্থের সংকেত ব্যবহৃত হয় এবং তা স্থিরানুপাত সূত্রকে মেনে চলে একথা আগে বলা হয়েছে।

(3) রাসায়নিক সমীকরণে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের যে-সব সংকেত-একক ব্যবহার করা হয় তা তুল্যাঙ্ক অনুপাত সূত্রকে অবলম্বন করে। যথাঃ মিথেন+অক্সিজেন=কার্বন-ডাই-অক্সাইড+জল

$$CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, মিথেনে 12 ভাগ ওজনের কার্বন 4 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়েছে। আবার, কার্বন ডাই-অক্সাইডে 12 ভাগ ওজনের কার্বন 32 ভাগ ওজনের অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়েছে। সুতরাং, তুল্যাঙ্ক অনুপাত সূত্রানুযায়ী বলা যায় যে, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরস্পর যুক্ত হলে এদের ওজনভিত্তিক অনুপাত হবে 4 ঃ 32 বা 1 ঃ 8। উপরের সমীকরণেই দেখা যাচ্ছে যে জলের সংকেত-এককে $H:O=1:8$।

(4) গে-লুস্যাকের গ্যাস-আয়তন সূত্রও রাসায়নিক সমীকরণে প্রকাশিত হয়। উপরিউক্ত বিক্রিয়ার প্রত্যেকটি পদার্থ গ্যাসীয় এবং ধরা যাক এগুলির আয়তন S. T. P.-তে মাপা হয়েছে। এখানে পদার্থগুলির আয়তনভিত্তিক অনুপাত হল $CH_4:O_2:CO_2:H_2O=1:2:1:2$। এটি একটি সরল অনুপাত। রাসায়নিক সমীকরণে সংযোগ সূত্রগুলি প্রযোজ্য বলেই কোনো রাসায়নিক সমীকরণে ব্যবহৃত সংখ্যাগুলি (তা অণু বা সংকেত-এককের

সহগ হিসাবেই হোক আর বিভিন্ন পরমাণুর সংখ্যা হিসাবেই হোক) কেবল রাসায়নিক কণাগুলির (অণু, পরমাণু ইত্যাদির) সংখ্যা নির্দেশ করে না বিভিন্ন পদার্থের মধ্যে মোলীয় অনুপাত, আপেক্ষিক ওজনের অনুপাত, গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তনিক অনুপাত ইত্যাদি কতকগুলি নির্দিষ্ট অনুপাত স্থির করে। এই অনুপাতগুলি থেকে বিভিন্ন রকম ওজন ও আয়তনভিত্তিক গণনা করা যায়। এই কারণেই রাসায়নিক সমীকরণের আঙ্গিক দিক ছাড়াও মাত্রিক দিক আছে।

আঙ্গিক দিক : (1) কোন্ কোন্ পদার্থ বিক্রিয়ক আর কারাই বা বিক্রিয়াজাত পদার্থ, (2) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ কোন্ কোন্ মৌলিক উপাদানে গঠিত তা জানতে পারি।

মাত্রিক দিক : (1) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত প্রত্যেক পদার্থের অণুতে বা সংকেত-এককে বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের (ক) কতগুলি পরমাণু আছে, (খ) কত পারমাণবিক গুরুত্বের পরিমাণে আছে, (গ) কত ভাগ ওজন হিসাবে আছে এবং (ঘ) কত মোল-পরমাণু হিসাবে আছে তা জানতে পারি।

(2) প্রত্যেকটি বিক্রিয়কের—(ক) কতগুলি অণু বা সংকেত-এককের ন্যায় গঠনের কণা বিক্রিয়া করেছে, (খ) কত সংকেত-গুরুত্বের বা আণবিক গুরুত্বের পরিমাণে বিক্রিয়া করেছে, (গ) কত ভাগ ওজন হিসাবে বিক্রিয়া করেছে এবং (ঘ) কত মোল অণু বা সংকেত-একক হিসাবে বিক্রিয়া করেছে তাও জানা যায়।

(3) প্রত্যেকটি বিক্রিয়াজাত পদার্থের (ক) কতগুলি অণু বা সংকেত এককের ন্যায় গঠনের কণা গঠিত হয়েছে, (খ) কত সংকেত বা আণবিক গুরুত্বের পরিমাণে গঠিত হয়েছে, (গ) কত ভাগ ওজন হিসাবে গঠিত হয়েছে। এবং (ঘ) কত মোল অণু বা সংকেত-একক হিসাবে গঠিত হয়েছে।

(4) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ যদি গ্যাসীয় হয় তাহলে আয়তন হিসাবে কত পরিমাণ বিক্রিয়ক বিক্রিয়া করেছে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ আয়াতন হিসাবে কতটা তৈরী হয়েছে ইত্যাদি জানতে পারি।

রাসায়নিক সমীকরণ থেকে অনেক তথ্য জানা গেলেও বেশ কিছু গুরুত্বপূর্ণ তথ্য আছে যেগুলি রাসায়নিক সমীকরণ থেকে জানা যায় না। এই তথ্যগুলিই রাসায়নিক সমীকণের **সীমাবদ্ধতাকে** প্রকাশ করে। এই তথ্যগুলি হল : (1) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ কঠিন, তরল না

গ্যাসীয় ; (2) বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক না তাপশোষক, (3) উষ্ণতা, চাপ, অনুঘটক ইত্যাদির কিরূপ অবস্থায় বিক্রিয়াটি ঘটেছে ; (4) প্রত্যেকটি পদার্থের ঘনত্ব কিরূপ ছিল ; (5) বিক্রিয়ার গতি কিরূপ এবং (6) বিক্রিয়াটি শেষ হতে কত সময় লেগেছে।

উদাহরণ : $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

আঙ্গিক দিক : এই বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন বিক্রিয়ক এবং জল হল বিক্রিয়াজাত পদার্থ। হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন মৌলিক পদার্থ কিন্তু জল একটি যৌগিক পদার্থ। হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন দিয়ে জল তৈরী।

মাত্রিক দিক : সংকেত হিসাবে $2H_2$, O_2 এবং $2H_2O$ যে-সব পরিমাণগত তথ্য প্রকাশ করে তা সংকেতের গুরুত্ব আলোচনাকালে বলা হয়েছে। এই বিক্রিয়া থেকে সেই সব তথ্যগুলি জানা যায়। তাছাড়া আরও অনেক তথ্য আমরা এই সমীকরণ থেকে পাই। যেমন,

(1) (ক) একটি অক্সিজেন অণু দুইটি হাইড্রোজেন অণুর সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং দুই অণু জল উৎপন্ন হয়েছে। (খ) এক আণবিক গুরুত্বের অক্সিজেন দুই আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং দুই সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ জল তৈরী হয়েছে। (গ) 31·9988 amu অক্সিজেন 4·032 amu হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং 36·0308 amu জল তৈরী হয়েছে। (ঘ) $53{\cdot}46 \times 10^{-24}$g অক্সিজেন $6{\cdot}68 \times 10^{-24}$g হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে $60{\cdot}14 \times 10^{-24}$g জল তৈরী করেছে।

কিন্তু ব্যবহারিক কাজে উপরিউক্ত পরিমাণগুলি নগণ্য অথচ সমীকরণটি বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়জাত পদার্থের আণবিক অনুপাত নির্দেশ করে এবং তা এই বিক্রিয়ায় $H_2 : O_2 : H_2O = 2 : 1 : 2$ হয়। সুতরাং,

(2) (ক) 2 গ্রাম-অণু হাইড্রোজেন 1 গ্রাম-অণু অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং 2 গ্রাম-অণু জল উৎপন্ন করেছে। (খ) 2 মোল-অণু হাইড্রোজেন 1 মোল-অণু অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2 মোল-অণু জল উৎপন্ন করে। (গ) 4·032g হাইড্রোজেন 31·9988g অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 36·0308g জল উৎপন্ন করে। (ঘ) $2 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি হাইড্রোজেন-অণু $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি অক্সিজেন-অণুর সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং $2 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি জল-অণু উৎপন্ন করেছে। (ঙ) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত

পদার্থ গ্যাসীয় হওয়ায় বলা যায় একই উষ্ণতা ও চাপে 2 আয়তন হাইড্রোজেন 1 আয়তন অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করেছে এবং 2 আয়তন জলীয় বাষ্প তৈরী হয়েছে। এক আয়তনকে 1 cc, 10 cc, 1000 cc বা যে-কোনো কিছু ধরা যায়। আবার, বিক্রিয়াটি যদি S. T. P-তে ঘটেছে ধরা হয় তাহলে বলা যায় $2 \times 22{\cdot}4l$ হাইড্রোজেন $22{\cdot}4l$ অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় $2 \times 22{\cdot}4l$ জলীয় বাষ্প উৎপন্ন করেছে।

নীচে সাংকেতিক ভাষায় উপরিউক্ত তথ্যগুলিকে প্রকাশ করা হল।

$2H_2 \quad + \quad O_2 \quad = \quad 2H_2O$

2 অণু হাইড্রোজেন + 1 অণু অক্সিজেন = 2 অণু জল

$2 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23} H_2 + 6{\cdot}023 \times 10^{23} O_2 = 2 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23} H_2O$

2 মোল H_2 + 1 মোল O_2 = 2 মোল H_2O

2 গ্রাম-অণু হাইড্রোজেন + 1 গ্রাম-অণু অক্সিজেন = 2 গ্রাম-অণু জল

4·032g হাইড্রোজেন + 31·9988g অক্সিজেন = 36·03g জল

2 আয়তন হাইড্রোজেন + 1 আয়তন অক্সিজেন = 2 আয়তন জলীয় বাষ্প

2ml হাইড্রোজেন + 1ml অক্সিজেন = 2ml জলীয় বাষ্প

2 l হাইড্রোজেন + 1 l অক্সিজেন = 2l জলীয় বাষ্প

44·8l হাইড্রোজেন + 22·4l অক্সিজেন = 44·8 l জলীয় বাষ্প

উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন, অক্সিজেন ও জলীয় বাষ্পের (ক) আণবিক অনুপাত = 2:1:2, (খ) মোলীয় অণুপাত = 2:1:2, (গ) গ্রাম-অণুর অনুপাত = 2:1:2 (ঘ) আয়তনিক অনুপাত = 2:1:2 এবং (ঙ) গ্রাম-এককে ভরের অনুপাত = 4·032 : 31·9988:36·03। কাজেই, এই বিক্রিয়ার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট পদার্থগুলির আণবিক অনুপাত = মোলীয় অনুপাত = গ্রাম-অণুর অনুপাত = আয়তনিক অনুপাত। সুতরাং, যে-কোনো একটি অনুপাত জানা থাকলে অন্যগুলি জানা হয়। এই অনুপাতগুলিকে কাজে লাগিয়ে বিভিন্ন রকম রাসায়নিক গণনা করা যায়। বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির যে-কোনো দুইটির নাম যদি A এবং B হয় তাহলে,

$$\frac{\text{A-এর মোল-অণু-সংখ্যা}}{\text{B-এর মোল-অণু-সংখ্যা}} = \frac{\text{A-এর গ্রাম-অণু-সংখ্যা}}{\text{B-এর গ্রাম-অণু-সংখ্যা}} = \frac{\text{A গ্যাসের আয়তন}}{\text{B গ্যাসের আয়তন}}$$

এই সব অনুপাত থেকে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় মোল-মোল, আয়তন-আয়তন গণনা করা যায়। আবার, মোল-একক থেকে বা গ্রাম-অণু থেকে গ্রাম-এককে ভর প্রকাশ করা যায় বলে বিক্রিয়ার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট যে-কোনো পদার্থের প্রকৃত ভর জানা থাকলে অন্য পদার্থগুলির ভরও নির্ণয়

করা যায়। যেমন, যদি বলা হয় 2·016g হাইড্রোজেন কতগ্রাম অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ? তাহলে উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে লেখা যায় ঃ

$$\frac{2 \text{ মোল } H_2}{1 \text{ মোল } O_2}=\frac{4{\cdot}032g \text{ হাইড্রোজেন}}{31{\cdot}9988g \text{ অক্সিজেন}}=\frac{2{\cdot}016g \text{ হাইড্রোজেন}}{xg \text{ অক্সিজেন}}$$, যেখানে xg

অক্সিজেনের নির্ণেয় ভর। $\therefore\ x=\frac{2{\cdot}016g}{4{\cdot}032g}\times 31{\cdot}9988g$ বা, 15·9994g

4. 9 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·25 মোল H_2 যখন নাইট্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে তখন কত মোল NH_3 তৈরী হয় ?

সমাধান ঃ ধরি অ্যামোনিয়ার নির্ণেয় মোল-সংখ্যা $=x$; আবার,

$$N_2+3H_2=2NH_3$$

কাজেই, $$\frac{x \text{ মোল } NH_3}{0{\cdot}25 \text{ মোল } H_2}=\frac{2 \text{ মোল } NH_3}{3 \text{ মোল } H_2}$$

বা, $x=\frac{2 \text{ মোল } NH_3}{3 \text{ মোল } H_2}\times\frac{0{\cdot}25 \text{ মোল } H_2}{1 \text{ মোল } NH_3}$ বা, $x=\frac{0{\cdot}5}{3}$ বা, 0·166

সুতরাং, উৎপন্ন অ্যামোনিয়ার পরিমাণ=0·166 মোল।

4. 10 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 6*l* নাইট্রোজেন থেকে কত লিটার অ্যামোনিয়া পাওয়া যায় ?

সমাধান ঃ ধরি 6*l* নাইট্রোজেন থেকে x *l* অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়।

এখন, $$N_2+3H_2=2NH_3$$

কাজেই, $\frac{x\ l \text{ অ্যামোনিয়া}}{6\ l \text{ নাইট্রোজেন}}=\frac{2\ l \text{ অ্যামোনিয়া}}{1\ l \text{ নাইট্রোজেন}}$ বা, $x=12$

সুতরাং, 6*l* নাইট্রোজেন থেকে 12 *l* অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।

4.9 রাসায়নিক গণনা (Chemical calculations) ঃ বিভিন্ন পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন অনুধাবন করা রসায়ন পাঠের অঙ্গ। কোনো পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন অনুধাবন করতে হলে সেই পদার্থের এবং ঐ পরিবর্তনের সঙ্গে জড়িত অন্যান্য পদার্থের ওজন বা আয়তন, সংকেত ইত্যাদি জানা দরকার হয়। এই সমস্ত তথ্য বিভিন্ন পরীক্ষার ফলাফল থেকে গণনা করা যায়। আবার, কোনো পরীক্ষা সম্পন্ন করতে হলেও বিভিন্ন বিক্রিয়কের ওজন বা আয়তনের ভিত্তিতে বিভিন্ন রকম রাসায়নিক গণনার প্রয়োজন হয়। এই ধরনের গণনা সংযুতিমিতির অন্তর্গত।

সংযুতিমিতি (Stoichiometry) ঃ রসায়নের যে-বিভাগ রাসায়নিক পদার্থের ওজনভিত্তিক এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে ওজন বা আয়তনভিত্তিক সংযুতি

পর্যালোচনা করে তাকেই **সংযুতিমিতি** বলে। বিভিন্ন পদার্থের রাসায়নিক সংযুতি পরীক্ষা-নিরীক্ষার দ্বারা বিচার করে **সংযুতিমিতির পাঁচটি সূত্র** পাওয়া গেছে। এগুলি রাসায়নিক সংযোগ সূত্র নামে দ্বিতীয় অধ্যায়ে বিশদ-ভাবে আলোচিত হয়েছে। এই সূত্রগুলিই রাসায়নিক গণনার ভিত্তি। আবার, আমরা 4.8 নং অনুচ্ছেদে দেখেছি যে, রাসায়নিক সমীকরণে সংযোগ সূত্রগুলি প্রকাশিত হয়। সুতরাং, রাসায়নিক সমীকরণের সাহায্যে সংযুতিমিতিয় গণনা সহজেই করা যেতে পারে এবং তার পদ্ধতিও বিশদভাবে 4.8 নং অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হয়েছে।

যে-কোনো রাসায়নিক গণনার জন্য নীচে উল্লেখিত একাধিক তথ্যের প্রয়োজন হয়। এইগুলির মধ্যে প্রথম তিনটি তথ্য প্রত্যেকটি রাসায়নিক গণনার জন্য অপরিহার্য।

(1) মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব,

(2) রাসায়নিক পদার্থের সংকেত,

(3) রাসায়নিক পরিবর্তনের সঠিক রাসায়নিক সমীকরণ। এই সমীকরণ থেকে কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে ওজনভিত্তিক সম্পর্ক লেখা চলে। যদি সমীকরণটি S.T.P-তে প্রয়োগ করা হয় তাহলে অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগ করে গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে আয়তন ও ওজন গণনা করা যায়।

(4) গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের বা গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ গ্যাসের S.T.P-তে আয়তন 22·4 লিটার হয়।

(5) S.T.P-তে এক লিটার হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 0·09 g।

(6) গ্যাসীয় পদার্থের বাষ্পীয় ঘনত্ব

$$= \frac{\text{কোনো পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তনের বাষ্পের ওজন}}{\text{সমচাপ ও উষ্ণতায় সমআয়তনের হাইড্রোজেনের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{পদার্থটির আণবিক গুরুত্ব}}{2} \text{ (প্রায়)।}$$

(7) $t°C$ উষ্ণতায় এবং Pmm চাপে Vml হাইড্রোজেনের ওজন

$$= \frac{V \times 0{\cdot}00009 \times 273 \times P}{(273 + t) \times 760} \text{ g} \quad \text{(অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য)}$$

(8) S.T.P-তে কোনো গ্যাসের আয়তন V_1ml হলে $t°C$ উষ্ণতায় ও Pmm চাপে গ্যাসটির আয়তন$= \frac{760 \times (273 + t) \times V_1}{273 \times P}$ml

(9) $t°C$ উষ্ণতায় এবং Pmm চাপে কোন গ্যাসের আয়তন V_1ml হলে S.T.P-তে গ্যাসটির আয়তন $= \frac{P \times V_1 \times 273}{(273+t) \times 760}$ml

(10) 1 মোল পরমাণু=ag, (পদার্থের পারমাণবিক গুরুত্ব=a)
1 মোল অণু=mg, (পদার্থের আণবিক গুরুত্ব=m)
1 মোল সংকেত-একক=fg, (পদার্থের সংকেত-গুরুত্ব=f)
1 মোল অণু গ্যাস=22.4l গ্যাস (S.T.P-তে)

(11) 1 l=1000cc ধরা হয়। অতএব, 1 ml=1 cc

বিভিন্ন ধরনের সংযুতিমিতিয় গণনা আছে। এখানে কতকগুলি সাধারণ গণনা আলোচনা করা হবে। যেমন, পদার্থের ওজন থেকে ওজন, ওজন থেকে আয়তন বা আয়তন থেকে ওজন এবং আয়তন থেকে আয়তন। এই ধরনের গণনাকে দুইটি শ্রেণীতে ভাগ করা হল ঃ

(ক) রাসায়নিক পদার্থের সংকেত ও সংযুতিমিতিয় গণনা ঃ এই ধরনের রাসায়নিক গণনা আবার দুই রকমের হতে পারে। (i) স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেত নির্ণয় ও (ii) যৌগের শতকরা সংযুতি নির্ণয়।

(i) **স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেত নির্ণয় ঃ** রাসায়নিক বিশ্লেষণের দ্বারা যে-কোনো যৌগের নির্দিষ্ট ওজনে মৌলিক উপাদানগুলির আপেক্ষিক ওজন নির্ণয় করা যায়। বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে এই বিশ্লেষণের জন্য খুব বেশী হলে 1g-2g-এর মতো যৌগ ব্যবহৃত হয়। বিশ্লেষণের ফলাফল যৌগের আপেক্ষিক ওজনভিত্তিক সংযুতি নির্দেশ করে। গণনার সুবিধার জন্য এই ফলাফলকে প্রতি 100g যৌগের পরিপ্রেক্ষিতে প্রকাশ করা হয়।

প্রতি 100 ভাগ ওজনের যৌগে প্রত্যেকটি মৌলিক পদার্থ যত ভাগ ওজন হিসাবে থাকে তাই মৌলিক উপাদানগুলির উক্ত যৌগে **শতকরা সংযুতি** হয়। সাধারণতঃ গ্রাম-এককেই শতকরা সংযুতি গণনা করা হয়। প্রত্যেকটি মৌলের শতকরা ওজনকে (গ্রাম-এককে) গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব দিয়ে ভাগ করলে প্রতি 100g যৌগে মৌলগুলির গ্রাম-পরমাণু-সংখ্যা বা মোল-পরমাণুর সংখ্যা পাওয়া যায়। বিভিন্ন পরমাণুর মোল-সংখ্যাকে ক্ষুদ্রতম মোল-সংখ্যা দিয়ে ভাগ করলে এক মোল সংকেত-এককে উপাদান মৌলগুলির পরমাণুর আপেক্ষিক মোল-সংখ্যা বা তাদের আপেক্ষিক গ্রাম-পরমাণুর সংখ্যা পাওয়া যায়। সংকেতের গুরুত্ব আলোচনাকালে দেখেছি যে, যে-কোনো যৌগের এক মোল সংকেত-এককে মৌলিক উপাদানগুলির মোল-

পরমাণু-সংখ্যা যত হয় ঐ যৌগের প্রতি সংকেত-এককে মৌলগুলির পরমাণু-সংখ্যাও তত হয়। এখন কোনো যৌগের সংকেত-এককে বিভিন্ন পরমাণুর সংখ্যা জানা থাকিলে কেমনভাবে সংকেত লিখতে হয় তা 4.3 নং অনুচ্ছেদে আলোচিত হয়েছে। যৌগের স্থূল সংকেত থেকে যৌগটির সংকেত-গুরুত্ব গণনা করা যায় (3.5 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। এখন যৌগটির বাষ্পীয় ঘনত্ব বা আণবিক গুরুত্ব দেওয়া থাকলে তার সঙ্গে সংকেত-গুরুত্বের সম্পর্ক স্থাপন করে যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যায় (4.3 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

নীচে স্থূল সংকেত নির্ণয়ের পদ্ধতিটি ছকের আকারে লেখা হল:

মৌলের চিহ্ন Es	প্রতি 100g যৌগে মৌলের আপেক্ষিক ওজন = wg	মৌলের গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব = ag	প্রতি 100g যৌগে মৌলের আপেক্ষিক গ্রাম-পরমাণুর সংখ্যা বা, মোল-পরমাণু-সংখ্যা, $n = \frac{wg}{ag}$	যৌগের প্রতি সংকেত-এককে মৌলের আপেক্ষিক পরমাণুর সংখ্যা বা, এক মোল সংকেত-একক যৌগে মৌলের মোল-পরমাণুর সংখ্যা $\frac{\text{গ্রাম-পরমাণুর সংখ্যা } (n)}{\text{ক্ষুদ্রতম গ্রাম-পরমাণু-সংখ্যা } (n_s)}$

4.11 নং গাণিতিক উদাহরণ: কোনো যৌগে পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত Na:S:O = 2:2:3 হলে যৌগটির স্থূল সংকেত লেখ ?

(a) **সমাধানের পথ:** প্রদত্ত চিহ্নগুলি পাশাপাশি লিখে সাংখ্যিক অনুপাত থেকে পরমাণুর আপেক্ষিক সংখ্যা যথাযথভাবে বসানো।

(b) **সমাধান:** $Na_2S_2O_3$

4.12 নং গাণিতিক উদাহরণ: কোনো যৌগের এক গ্রাম-অণুতে 0·25 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন এবং 0·50 গ্রাম-পরমাণু নাইট্রোজেন আছে। যৌগটির বাষ্পীয় ঘনত্ব 22 হলে এটির আণবিক সংকেত কি ?

(a) **সমাধানের পথ:** ক্ষুদ্রতম গ্রাম-পরমাণু সংখ্যা দিয়ে বিভিন্ন মৌলের গ্রাম-পরমাণু সংখ্যাকে ভাগ করে মৌলিক উপাদানগুলির আপেক্ষিক পরমাণু-সংখ্যা গণনা করে স্থূল সংকেত নির্ণয়। স্থূল সংকেতের সঙ্গে আণবিক সংকেতের সম্পর্ক স্থাপন।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য:** অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের চিহ্ন এবং গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব, তা যথাক্রমে O—15·999g এবং N—14·006g।

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $0.25 < 0.50$ বলে, যৌগটিতে অক্সিজেন

পরমাণুর আপেক্ষিক সংখ্যা $= \frac{0.25}{0.25}$ বা 1

এবং নাইট্রোজেন পরমাণুর আপেক্ষিক সংখ্যা $= \frac{0.50}{0.25}$ বা 2

অতএব, যৌগটির স্থূল সংকেত হল N_2O

আবার, যৌগটির আণবিক গুরুত্ব $= 2 \times 22 = 44$ ($\because$ M $= 2$D)

এখন, ধরা যাক যৌগের আণবিক সংকেত $= (N_2O)x$

কাজেই, $(N_2O)x$ এর আপেক্ষিক গুরুত্ব $= 44$

বা, $(2 \times 14.006 + 15.999)x = 44$

বা, $x = 44/44.011$, বা $x = 1$ (প্রায়)

সুতরাং, যৌগের নির্ণেয় আণবিক সংকেত $= (N_2O)_1$ বা N_2O

4.13 নং গাণিতিক উদাহরণ : 16 ভাগ ওজনের অক্সিজেন এবং 16 ভাগ ওজনের সালফার কোনো একটি দ্বি-মৌলিক যৌগে আছে। S.T.P.-তে যৌগের 1 l বাষ্পের ওজন 2·88g। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় কর।

(a) **সমাধানের পথ :** (i) উপরে বর্ণিত ছকের ন্যায় ছক তৈরী করে স্থূল সংকেত নির্ণয় করতে হবে। (ii) যৌগের বাষ্পীয় ঘনত্ব নির্ণয় করে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করতে হবে। (iii) আণবিক গুরুত্ব (M) ও স্থূল সংকেত-গুরুত্বের (f) মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন।

(b) **গাণিতিক সমাধান :**

Es	wg	ag	$n = \frac{wg}{ag}$	মৌলের আপেক্ষিক পরমাণু-সংখ্যা $= n/ns$
O	16g	15·99g	1 (প্রায়)	2
S	16g	32·00g	0·5 (প্রায়)	1

$\therefore$ যৌগের স্থূল সংকেত $= SO_2$

আবার, যৌগটির আণবিক গুরুত্ব $= 2 \times$ বাষ্পীয় ঘনত্ব

$$= \frac{2 \times 2.88g}{0.09g} = 2 \times 32 \text{ বা } 6$$

স্থূল সংকেত-গুরুত্ব $= 32 + 2 \times 15.999$ বা 63·998

$\therefore$ $63.998 \times x = 64$ বা $x = 1$ (প্রায়)

$\therefore$ নির্ণেয় আণবিক সংকেত $= (SO_2)_1$ বা SO_2

4.14 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ কোনো যৌগে অক্সিজেন, হাইড্রোজেন ও কার্বনের পরিমাণ (ওজনে) 53·33%, 6·67% এবং 40%, যথাক্রমে। আণবিক গুরুত্ব 180 হলে যৌগটির আণবিক সংকেত কি? [মৌলগুলির পাঃ গুঃ যথাক্রমে 16, 1 এবং 12 যদি হয়।]

সমাধান ঃ

Es	wg	ag	$n=\frac{wg}{ag}$	মৌলের আপেক্ষিক পরমাণু সংখ্যা $=\frac{n}{ns}$
C	40.00 g	12·00 g	3·33	1
H	6·67 g	1·00 g	6·67	2
O	53·33 g	16·00 g	3·33 (n_s)	1

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত $=CH_2O$

কাজেই, স্থূল সংকেত-গুরুত্ব $=12+2+16$ বা 30

ধরি যৌগটির আণবিক সংকেত $=(CH_2O)x$

এখন, $x=\frac{180}{30}$ বা $x=6$

∴ যৌগটির আণবিক সংকেত ঃ $C_6H_{12}O_6$

(ii) যৌগের সংকেত-একক থেকে শতকরা সংযুতি নির্ণয় ঃ এটি শতকরা সংযুতি থেকে সংকেত নির্ণয়ের বিপরীত প্রক্রিয়া। সুতরাং, আগের ছকের ঠিক উল্টোভাবে একটি ছক তৈরী করে সংকেত-এককের শতকরা সংযুতি সহজেই নির্ণয় করা যায়।

রাসায়নিক নাম	এক মোল সংকেত-এককে কণা বা, পরমাণুর মোল-সংখ্যা (n)	গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব (ag) বা গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব, (fg)	এক মোল সংকেত এককে কণা বা পরমাণুর মোট ওজন ($wg=ag\times n$)	সংকেত-এককের এক গ্রামে কণাটির আপেক্ষিক ওজন $\frac{wg}{fg}$	মৌলের শতকরা সংযুতি- $\frac{wg}{fg}\times 100$

4.15 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ Na_2CO_3-এর শতকরা সংযুতি নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ

Es	n	ag বা fg	wg=ag×u	$\frac{wg}{fg}$	$\frac{wg}{fg}\times100$
Na	2	22·989g	45·978g	0·4340 (প্রায়)	43·4
C	1	12·011g	12·011g	0·1130 (প্রায়)	11·3
O	3	15·999g	47·997g	0·453 (প্রায়)	45·3
Na_2CO_3	1	105·956g (fg)			

∴ Na_2CO_3-এর নির্ণেয় শতকরা সংযুতি Na=43·4%, C=11·3% এবং O=45·3%

(খ) রাসায়নিক সমাকরণ ও সংযুতিমিতির গণনা ঃ বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত বিভিন্ন পদার্থের মধ্যে ওজন থেকে ওজন এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে ওজন থেকে আয়তন এবং আয়তন থেকে আয়তনও রাসায়নিক সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

(i) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের ওজন-ওজন গণনা ঃ রাসায়নিক সমীকরণ থেকে মোল-মোল, মোল-ওজন এবং ওজন-ওজন অনুপাত ইত্যাদি নির্ণয় করে এইরূপ গণনা করতে হয়।

4.16 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ কতগ্রাম $KClO_3$ থেকে 100g KCl পাওয়া যায় ?

(a) সমাধানের পথ ঃ $KClO_3$ থেকে KCl উৎপাদনের সমীকরণ লেখা এবং তা থেকে (i) KCl ও $KClO_3$-এর মোল-মোল বা (ii) ওজন-ওজন অনুপাত নির্ণয় করে প্রদত্ত ওজনের KCl-এর জন্য তা প্রয়োগ করা।

(b) প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ (i) $KClO_3$ থেকে KCl তৈরীর সমীকরণ এবং বিভিন্ন অনুপাত নির্ণয় ঃ $2KClO_3=2KCl+3O_2$

$$\therefore \frac{1\text{ মোল }KClO_3}{1\text{ মোল }KCl}=\frac{KClO_3\text{-এর গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব}}{KCl\text{-এর গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব}}$$

(ii) K, Cl এবং O-এর গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্ব 39·10g 35·45g, এবং 15·999g যথাক্রমে।

(iii) 1 মোল $KClO_3$=122·527g $KClO_3$

1 মোল KCl=74·55g KCl

(c) গাণিতিক সমাধান ঃ (i) মোল-একক প্রয়োগ করে ঃ

$$100g\ KCl=\frac{100}{74\cdot55}\text{মোল } KCl$$

ধরি 100/74·55 মোল KCl পাওয়া যায় x মোল $KClO_3$ থেকে

$$\therefore \frac{x \text{ মোল } KClO_3}{\frac{100}{74 \cdot 55} \text{ মোল } KCl} = \frac{1 \text{ মোল } KClO_3}{1 \text{ মোল } KCl}$$

$$\text{বা, } x = \frac{100}{74 \cdot 55}$$

$$\text{আবার, } \frac{100}{74 \cdot 55} \text{ মোল } KClO_3 = \frac{100 \times 122 \cdot 527}{74 \cdot 550} gKClO_3$$

$$= 164 \cdot 4g \; KClO_3$$

(ii) ওজন-ওজন অনুপাত থেকে ;

$$\frac{1 \text{ মোল } KClO_3}{1 \text{ মোল } KCl} = \frac{122 \cdot 527gKClO_3}{74 \cdot 550g \; KCl}$$

ধরি 100gKCl পাওয়া যায় xg $KClO_3$ থেকে

$$\therefore \frac{xgKClO_3}{100gKCl} = \frac{122 \cdot 527gKClO_3}{74 \cdot 550gKCl}$$

$$\text{বা, } xg = \frac{122 \cdot 527 \times 100}{74 \cdot 550} g \quad \therefore \; xg = 164 \cdot 4g$$

$\therefore$ 100gKCl পাওয়া যায় 164·4g $KClO_3$ থেকে।

অথবা, 1 মোল KCl পাওয়া যায় 1 মোল $KClO_3$ থেকে

অর্থাৎ, 74·55g KCl পাওয়া যায় 122·527g $KClO_3$ থেকে

$\therefore$ 100g KCl পাওয়া যায় $\frac{122 \cdot 527 \times 100}{74 \cdot 55}$ g বা, 164·4g $KClO_3$ থেকে।

4.17 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 10g পারদকে মারকিউরিক অক্সাইডে পরিণত করতে কত গ্রাম $KClO_3$ দরকার ?

(a) **সমাধানের পথ ঃ** (i) Hg থেকে HgO তৈরীর সমীকরণ লিখে প্রয়োজনীয় মোল-মোল অনুপাত নির্ণয় করা। (ii) $KClO_3$-এর বিয়োজনে অক্সিজেন তৈরীর সমীকরণ লিখে প্রয়োজনীয় মোল-মোল অনুপাত নির্ণয়।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ** (ia) $2Hg + O_2 = 2HgO$

$$\frac{x \text{ মোল } O_2}{y \text{ মোল } Hg} = \frac{1 \text{ মোল } O_2}{2 \text{ মোল } Hg} \; ...... \quad (1) \; [\text{যেখানে } x \text{ ও } y \text{ অজ্ঞাত}]$$

(ib) 1 মোল Hg = 200·59g Hg, 1 মোল $O_2 = 2 \times 15 \cdot 999g$ O

(iia) $2KClO_3 = 2KCl + 3O_2$

$$\frac{x \text{ মোল } O_2}{z \text{ মোল } KClO_3} = \frac{3 \text{ মোল } O_2}{2 \text{ মোল } KClO_3} \ldots\ldots \quad (2) \; [\, x \text{ ও } z \text{ অজ্ঞাত} \,]$$

(iib) 1 মোল $KClO_3 = 122{\cdot}527g\ KClO_3$

(c) **গাণিতিক সমাধান :** (i) $10g\ Hg = \frac{10}{200{\cdot}59}$ মোল Hg(y)

ধরি, 10g Hg-কে HgO-তে পরিণত করতে x মোল O_2 লাগে।

$$\therefore \quad x \text{ মোল } O_2 = \frac{y \text{ মোল } Hg \times 1 \text{ মোল } O_2}{2 \text{ মোল } Hg} \; (\text{ 1 নং সমীকরণ থেকে })$$

$$= \frac{10 \times 1 \text{ মোল } O_2}{200{\cdot}59 \times 2}$$

$$\text{আবার, } z \text{ মোল } KClO_3 = \frac{2 \text{ মোল } KClO_3 \times x \text{মোল } O_2}{3 \text{ মোল } O_2}$$

(2 নং সমীকরণ থেকে)

$$= \frac{10 \times 2}{200{\cdot}59 \times 2 \times 3} \text{ মোল } KClO_3$$

$$= \frac{10 \times 2 \times 122{\cdot}527}{200{\cdot}59 \times 2 \times 3} g\ KClO_3$$

$$= 2{\cdot}03g.$$

অথবা, 1 মোল O_2 পাওয়া যায় $\frac{2}{3}$ মোল $KClO_3$ থেকে।

আবার, 1 মোল O_2 যুক্ত হয় 2 মোল Hg-এর সঙ্গে।

$\therefore$ 2 মোল Hg-কে HgO-তে পরিণত করতে $\frac{2}{3}$ মোল $KClO_3$ লাগে।

অর্থাৎ, 401·18g Hg-কে HgO-তে পরিণত করতে 81·681g $KClO_3$ লাগে

বা, 10g Hg-কে HgO-তে পরিণত করতে $\frac{81{\cdot}681}{401{\cdot}18} \times 10g\ KClO_3$

বা, 2·03g $KClO_3$ লাগে।

(ii) **বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের ওজন-আয়তন গণনা :** রাসায়নিক সমীকরণের সাহায্যে বিক্রিয়াটির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট পদার্থগুলির মোল-ওজন, মোল-আয়তন, ওজন-আয়তন সম্পর্ক নির্ণয় করে এইরূপ গণনা করতে হয়।

4.18 নং গাণিতিক উদাহরণ : 5g অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইটের বিয়োজনে কত লিটার নাইট্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়, 227°C উষ্ণতায় এবং 1 atm চাপে যদি গ্যাসের আয়তন মাপা হয় ?

(a) **সমাধানের পথ :** অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইটের বিয়োজনের সমীকরণ থেকে NH_4NO_2-এর সঙ্গে N_2-এর মোল-মোল এবং ওজন-আয়তন সম্পর্ক স্থাপন করা। উক্ত ওজন-আয়তন সম্পর্ক থেকে 5g NH_4NO_2 কত ml N_2 উৎপন্ন করে তা নির্ণয় করা। এই আয়তন (V_1) S. T. P-তে ধরে নীচের সমীকরণ থেকে নির্ণেয় আয়তন, $V_2=\frac{V_1\times760\times(273+t)}{273\times P_2}$

যেখানে V_2=227°C (t°C) উষ্ণতায় 1 atm (P_2) চাপে উৎপন্ন নাইট্রোজেনের আয়তন।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) $NH_4NO_2=N_2+2H_2O$

1 মোল NH_4NO_2 থেকে 1 মোল N_2 পাওয়া যায়।

(ii) 1 মোল NH_4NO_2=64.04g NH_4NO_2

(iii) 1 মোল N_2=22·4*l* N_2 S. T. P-তে

(c) **গাণিতিক সমাধান :** 1 মোল NH_4NO_2 বা, 64·04g NH_4NO_2 থেকে 22·4*l* N_2 S. T. P-তে পাওয়া যায়।

বা, 5g NH_4NO_2 থেকে $\frac{22\cdot4\times5}{64\cdot04}l$ N_2 S. T. P-তে পাওয়া যায়।

$$\therefore\ V_1=\frac{22\cdot4\times5}{64\cdot04}l$$

সুতরাং, $V_2=\frac{22\cdot4\times5\times760\times(227+273)}{273\times64\cdot04\times760}l$

$\left[\because\ P_2=1\text{ atm}=760\text{ mm}\ \text{এবং } t°C=(273+t)°K\right]$

$$=\frac{22\cdot4\times25\times100}{273\times64\cdot04}l$$

$$=\frac{560\cdot0\times100}{273\times64\cdot54}l \text{ বা } 3\cdot202l$$

∴ নাইট্রোজেন গ্যাসের নির্ণেয় আয়তন=3·202*l*

(iii) **আয়তন থেকে আয়তন নির্ণয় :** যে-কোনো বিক্রিয়ায় কোনো গ্যাসীয় পদার্থের S. T. P-তে আয়তন দেওয়া থাকলে বিক্রিয়াটির রাসায়নিক সমীকরণ থেকে বিক্রিয়ার সঙ্গে জড়িত অন্যান্য গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন গণনা করা যায়। এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে মোল-মোল, মোল-আয়তন ও আয়তন-আয়তন সম্পর্ক স্থাপন করতে হয়।

4.19 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 10 লিটার অক্সিজেন গ্যাসে 1 লিটার হাইড্রোজেন গ্যাসের দহনের ফলে S. T. P-তে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন কত হবে ?

(a) **সমাধানের পথ ঃ** হাইড্রোজেনের দহনের সমীকরণ থেকে 1 l হাইড্রোজেন কত লিটার অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং জলীয় বাষ্প তৈরী করে তা নির্ণয় করতে হবে। S. T. P-তে জলীয় বাষ্প জলে পরিণত হয়। সুতরাং, উদ্বৃত্ত অক্সিজেন গ্যাসের আয়তনই হবে দহনের পরে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ** (i) $2H_2+O_2=2H_2O$

2 মোল H_2 যুক্ত হয় 1 মোল O_2-এর সঙ্গে

(c) **গাণিতিক সমাধান ঃ** 2 l H_2 যুক্ত হয় 1 l O_2-এর সঙ্গে।

1 l H_2 বিক্রিয়া করে 0·5 l O_2-এর সঙ্গে।

সুতরাং, উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন $=10\,l-0\cdot5\,l$ বা $9\cdot5\,l$।

4.20 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ কত আয়তনের হাইড্রোজেন গ্যাস 10l ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে কত আয়তনের হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন করবে ? গ্যাসগুলির আয়তন সমান উষ্ণতা ও চাপে মাপা হয়েছে।

(a) **সমাধানের পথ ঃ** $H_2+Cl_2=2HCl$

1 মোল H_2 + 1 মোল Cl_2 = 2 মোল HCl

বা, $22\cdot4lH_2+22\cdot4lCl_2=2\times22\cdot4lHCl$

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** $1lH_2+1lCl_2=2lHCl$

∴ 10 l হাইড্রোজেন গ্যাস 10 l ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় 20l HCl উৎপন্ন করে।

4.21 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·5 মোল NH_3-এর S. T. P-তে কত আয়তন হয় ?

1 মোল অ্যামোনিয়ার S. T. P-তে 22·4 l আয়তন হয়

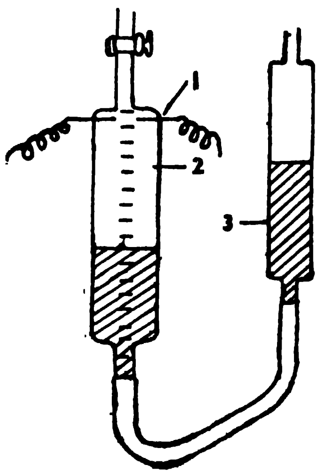
∴ 0·5 মোল অ্যামোনিয়ার S. T. P-তে ($22\cdot4\times0\cdot5$) l আয়তন হয়

বা, 11·2 l আয়তন হয়।

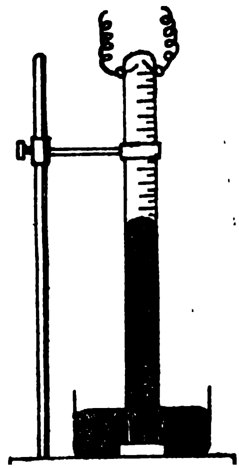
ইউডিয়মিতির দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন-আয়তন গণনা বিশেষ প্রয়োজনীয়। নীচে এটি আলোচিত হল ঃ

ইউডিয়মিতি (Eudiometry) ঃ বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের দ্বারা বিস্ফোরণ ঘটিয়ে গ্যাস-মিশ্রণের দহনজনিত আয়তন পরিবর্তন ইউডিয়মিটার যন্ত্রে

মেপে রাসায়নিক পদার্থের যে-সব সংযুক্তিমিতিয় সম্পর্ক নির্ণয় করা হয় তাকেই **ইউডিয়মিতি** বলে। স্বাভাবিকভাবেই রাসায়নিক সমীকরণ এই পদ্ধতির গণনার ভিত্তি। ইউডিয়মিটার যন্ত্রে (4.9.1 a, b নং চিত্র), সাধারণতঃ গ্যাসের আয়তন পরিমাপের জন্য অংশাঙ্কিত কাচনল (2), বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য পরিবাহী তার (1) এবং পারদ স্তর (3) থাকে। পারদ স্তরের উপরেই গ্যাস মিশ্রণের আয়তন মাপা হয়। ইউডিয়মিটার বিভিন্ন আকৃতির হয়। যেমন, খাড়া এক নলবিশিষ্ট (4.9.1b), U-আকৃতির (4.9.1a) ইত্যাদি।



4.9.1a নং চিত্র



4.9.1b নং চিত্র

ইউডিয়মিটার যন্ত্র দুই রকম কাজে ব্যবহৃত হতে পারে। ভোল্টামিটারের মতো বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিমাণ নির্ধারণের কাজে এবং বিক্রিয়ার আগে ও পরে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন পরিমাপের কাজে। ইউডিয়মিতির নীতিগুলি নীচে লেখা হল :

(1) গ্যাসগুলির প্রকৃত আয়তন না মেপে আপেক্ষিক আয়তন মাপা হয় এবং তা রাসায়নিক সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়। এই ব্যাপারে 22·4 *l* গ্যাসকে এক আয়তন গ্যাস ধরা হয় অর্থাৎ এক মোল-অণু গ্যাসকে 1 আয়তন গ্যাস ধরা হয়। যেমন,

$$2H_2+O_2=2H_2O$$

$$1 \text{ মোল } H_2+1 \text{ মোল } O_2=2 \text{ মোল } H_2O$$

$$2 \times 22{\cdot}4\, l\, H_2 + 1 \times 22{\cdot}4\, l\, O_2 = 2 \times 22{\cdot}4\, l\, H_2O$$

2 আয়তন H_2 + 1 আয়তন O_2 = 2 আয়তন H_2O

2 ml H_2 + 1 ml O_2 = 2 ml H_2O

20 ml H_2 + 10 ml O_2 = 20 ml H_2O

(2) গ্যাসীয় পদার্থের তুলনায় তরল ও কঠিন পদার্থের আয়তন নগণ্য বলে ইউডিয়মিতির পরীক্ষায় বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তন 0ml ধরা হয়। যেমন,

C(S)	+	O_2 (g)	=	CO_2 (g)		
0 আঃ		1 আঃ	=	1 আঃ		আয়তন পরিবর্তন=0আঃ
2CO (g)	+	O_2(g)	=	$2CO_2$ (g)		
2আঃ		1 আঃ		2 আঃ		আয়তনের সংকোচন=1 আঃ
$2H_2$ (g)	+	O_2(g)	=	$2H_2O$(l)		
2 আঃ		1 আঃ		0 আঃ		আয়তনের সংকোচন=3 আঃ

যেখানে (g), (s), এবং (l) যথাক্রমে গ্যাসীয়, কঠিন ও তরল পদার্থের প্রতীক।

(3) ইউডিয়মিতির বিশ্লেষণে বিস্ফোরণের ফলে গ্যাস-মিশ্রণের আয়তনের পরিবর্তন হয়। এই পরিবর্তনের পরিমাণ বিস্ফোরণের আগে ও পরে মিশ্রণের আয়তন মেপে নির্ণয় করা হয়।

আবার, অনেক সময় উৎপন্ন গ্যাসগুলির মিশ্রণে কোনো একটি গ্যাসশোষক পদার্থ যুক্ত করা হয়। ফলে মিশ্রণের যে-কোনো একটি উপাদান শোষিত হয় এবং মিশ্রণের আয়তনের সংকোচন ঘটে। শোষক যুক্ত করার আগে ও পরে মিশ্রণের আয়তন মাপা হয়। এই দুই আয়তনের বিয়োগফল থেকে শোষিত গ্যাসের আয়তন জানা যায়।

বিভিন্ন গ্যাসের নাম ও শোষকের নাম নীচে লিপিবদ্ধ করা হল :

গ্যাসের নাম	শোষকের নাম
অক্সিজেন	ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট
CO_2, SO_2 প্রভৃতি	পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ
CO, C_2H_2	অ্যামোনিয়াক্যাল কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণ
ইথিলিন	জলীয় ব্রোমিন

ইউডিয়মিতির দ্বারা বিভিন্ন গ্যাস মিশ্রণের উপাদানগুলির আপেক্ষিক আয়তন ও প্রকৃত আয়তন নির্ণয় করা যায়। আবার, CO_2, SO_2, H_2O ইত্যাদির এবং হাইড্রোকার্বন শ্রেণীর যৌগের আয়তনমিতিয় সংযুক্তি

(Volumetric composition) ইউডিয়মিটার যন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় এবং তা থেকে এগুলির স্থূল সংকেত নির্ণয় করা সম্ভব হয়।

উদাহরণস্বরূপ, কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের হাইড্রোকার্বন যৌগের সঙ্গে অক্সিজেন মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটালে আয়তনের সংকোচন পরিলক্ষিত হয়। বিস্ফোরণের ফলে উৎপন্ন হয় কার্বন ডাইঅক্সাইড ও জলীয় বাষ্প এবং কিছুটা অক্সিজেন উদ্বৃত্ত থাকে। জলীয় বাষ্প ঠাণ্ডা হয়ে জলে পরিণত হয়। এই কার্বন ডাইঅক্সাইডকে পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের দ্বারা শোষণ করান হয়। ফলে আবার আয়তনের সংকোচন ঘটে। যন্ত্রে কেবল উদ্বৃত্ত অক্সিজেন থাকে। কাজেই শোষিত কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাণ সমান দ্বিতীয় সংকোচন। সুতরাং,

(হাইড্রোকার্বনের আয়তন + মোট অক্সিজেনের আয়তন)—(কার্বন ডাই-অক্সাইডের আয়তন + উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন) = প্রথম সংকোচন

প্রথম সংকোচন = হাইড্রোকার্বনের আয়তন + সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন + উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন—কার্বন ডাইঅক্সাইডের আয়তন—উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন।

বা, প্রথম সংকোচন = হাইড্রোকার্বনের আয়তন + সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন—কার্বন ডাইঅক্সাইডের আয়তন।

∴ সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন = প্রথম সংকোচন + দ্বিতীয় সংকোচন—হাইড্রোকার্বনের আয়তন

4. 22 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 40cc কার্বন মনোক্সাইড এবং 20cc হাইড্রোজেনের মিশ্রণে 45cc অক্সিজেন মিশিয়ে ইউডিয়মিটার যন্ত্রে বিস্ফোরণ ঘটান হল। বিস্ফোরণের পরে যন্ত্রে KOH-এর দ্রবণ যুক্ত করে ঝাঁকিয়ে নেওয়া হল। উদ্বৃত্ত গ্যাসের পরিমাণ ও নাম বল।

(a) **সমাধানের পথ ঃ** প্রদত্ত বিক্রিয়ায় জল ও CO_2 তৈরী হয় এবং এগুলি গ্যাসীয় অবস্থা থেকে সরিয়ে নেওয়া হয়েছে। সুতরাং, যদি উদ্বৃত্ত গ্যাস থাকে তা CO বা H_2 বা O_2।

এখন, $$2CO + O_2 = 2CO_2$$

$$\therefore \frac{\text{অক্সিজেনের আয়তন}}{\text{কার্বন মনোক্সাইডের আয়তন}} = \frac{O_2\text{-এর মোল-সংখ্যা}}{CO\text{-এর মোল-সংখ্যা}} = \frac{1}{2}$$

সুতরাং, কার্বন মনোক্সাইডকে জারণের জন্যে অক্সিজেনের আয়তন

CO-এর আয়তন

আবার, $2H_2+O_2=2H_2O$

$\therefore \dfrac{\text{অক্সিজেনের আয়তন}}{\text{হাইড্রোজেনের আয়তন}}=\dfrac{O_2\text{-এর মোল-সংখ্যা}}{H_2\text{-এর মোল-সংখ্যা}}=\dfrac{1}{2}$

হাইড্রোজেনকে জারণের জন্য অক্সিজেনের আয়তন$=\dfrac{\text{হাইড্রোজেনের আয়তন}}{2}$

(b) গাণিতিক সমাধান ঃ

সংযুক্ত অক্সিজেনের মোট আয়তন$=\dfrac{40cc}{2}+\dfrac{20cc}{2}=30cc$

সুতরাং, উদ্বৃত্ত গ্যাসটি অক্সিজেন এবং এর আয়তন (45 – 30)cc বা 15 cc।

অন্যভাবে, $2CO + O_2 = 2CO_2$

বা, 2 আয়তন 1 আয়তন =2 আয়তন

বা, 2 cc 1 cc =2 cc

বা, 40 cc 20 cc =40 cc

∴ 40 cc CO-এর জন্য 20 cc অক্সিজেন দরকার হয়।

আবার, $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

2 আয়তন 1 আয়তন=2 আয়তন

বা, 2 cc 1 cc=2 cc

বা, 20 cc 10 cc=20 cc

∴ 20 cc H_2-এর জন্য 10 cc অক্সিজেন দরকার হয়। সুতরাং,

প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের মোট আয়তন=(20+10) বা 30 cc

∴ উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন=(45 – 30) cc বা, 15 cc

4. 23 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ CO, CH_4 ও C_2H_6-এর 20 cc মিশ্রণকে 40 cc অক্সিজেনসহ বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের দ্বারা জারিত করা হল এবং KOH দ্রবণ যুক্ত করলে তা 24 cc আয়তনের গ্যাসকে শোষণ করে এবং উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের পরিমাণ 6 cc। গ্যাস মিশ্রণের উপাদানগুলির পরিমাণ নির্ণয় কর।

মনে করি CO-এর আয়তন=x cc

CH_4-এর আয়তন=y cc

C_2H_6-এরআয়তন=z cc

∴ প্রদত্ত সর্তানুসারে $x+y+z=20$ ··· (1)

আবার, $2CO + O_2 = 2CO_2$

2 আয়তন	1 আয়তন	2 আয়তন
2 cc	1 cc	2 cc
1 cc	$\frac{1}{2}$ cc	1 cc

$\therefore$ x cc CO-এর জারণের জন্য অক্সিজেনের আয়তন $= \frac{x}{2}$ cc

এবং উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = x cc

অনুরূপভাবে, $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

1 আয়তন	2 আয়তন	1 আয়তন	2 আয়তন
1 cc	2 cc	1 cc	2 cc

$\therefore$ y cc CH_4-এর জারণের জন্য অক্সিজেনের আয়তন = 2 y cc

এবং উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = y cc

একইভাবে, $2C_2H_6 + 7O_2 = 4CO_2 + 6H_2O$

2 আয়তন	7 আয়তন	4 আয়তন	6 আয়তন
2cc	7cc	4cc	6cc
1cc	$\frac{7}{2}$ cc	2cc	3cc

$\therefore$ zcc C_2H_6-এর জারনের জন্য অক্সিজেনের আয়তন $= \frac{7}{2}$zcc

এবং উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = 2zcc

সুতরাং, মিশ্রণের জারণের জন্য মোট অক্সিজেনের আয়তন=

$= (\frac{x}{2} + 2y + \frac{7}{2}z)$cc। কিন্তু প্রদত্ত অক্সিজেনের আয়তন 40cc

এবং উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন 6cc

$$\therefore \frac{x}{2} + 2y + \frac{7z}{2} = 34$$

$$\text{বা, } \frac{x+4y+7z}{2} = 34$$

$$\text{বা } x+4y+7z = 68 \ldots\ldots\ldots(2)$$

আবার, মিশ্রণের জারণে উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = xcc + ycc + 2zcc

প্রদত্ত সর্তানুসারে, $x+y+2z=24\ldots\ldots(3)$

(1), (2) ও (3) নং সমীকরণের সমাধান করলেই x, y ও z-এর মান পাওয়া যেতে পারে।

3 নং সমীকরণ থেকে 1 নং সমীকরণ বিয়োগ করলে পাই, $z=4$, z-এর এই মান 1 নং সমীকরণে বসালে $x+y=16$..........(4)

আবার 2 নং সমীকরণে $z=4$ বসালে $x+4y=40$..........(5)

এখন (5) নং সমীকরণ থেকে (4) নং সমীকরণ বিয়োগ করলে পাই $y=8$ আবার, (1) নং সমীকরণে z ও y-এর মান বসিয়ে পাই, $x=8$

∴ প্রদত্ত মিশ্রণে $CO=8cc$, $CH_4=8cc$ এবং $C_2H_6=4cc$ আছে।

4.24 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 66cc অক্সিজেনের সঙ্গে 20cc কোনো হাইড্রোকার্বনকে মিশিয়ে ইউডিয়মিটারে জারিত করা হল। ইউডিয়মিটার ঠাণ্ডা করার ফলে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন 56cc হল এবং KOH-এর দ্রবণ যুক্ত করার ফলে তা কমে 16cc হল। হাইড্রোকার্বনটির সংকেত নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ গ্যাস মিশ্রণের প্রথম সংকোচন=(20+66−56) বা, 30 cc

আবার, আয়তনের দ্বিতীয় সংকোচন=(56—16) cc বা 40cc

∴ উৎপন্ন কার্বন ডাইঅক্সাইডের আয়তন=40cc

প্রশ্নানুসারে উদ্বৃত্ত অক্সিজেনের আয়তন=16cc

∴ সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন=(66−16) cc বা 50cc

এখন আমরা জানি 1 আয়তন CO_2-তে 1 আয়তন অক্সিজেন থাকে।

∴ 40cc CO_2-তে 40cc অক্সিজেন আছে।

সুতরাং, হাইড্রোকার্বনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন (50—40) cc বা 10cc

আবার 10 cc অক্সিজেন যুক্ত হয় 20cc হাইড্রোজেনের সঙ্গে।

[∵ $C+O_2=CO_2$; $2H_2+O_2=2H_2O$]

কাজেই, 20cc হাইড্রোকার্বনে 20cc হাইড্রোজেন আছে এবং তা 40cc CO_2 তৈরী করে।

বা, 1cc হাইড্রোকার্বনে 1cc হাইড্রোজেন আছে এবং তা 2cc CO_2 তৈরী করে। যদি 1cc হাইড্রোকার্বনে x অণু হাইড্রোকার্বন আছে ধরা হয় এবং প্রতিটি গ্যাসের আয়তন যদি সমান উষ্ণতায় ও চাপে মাপা হয় তাহলে, x অণু হাইড্রোকার্বনে x অণু হাইড্রোজেন আছে এবং 2x অণু CO_2 তৈরী করে। বা, 1 অণু হাইড্রোকার্বনে 1 অণু হাইড্রোজেন আছে এবং তা 2 অণু CO_2 তৈরী করে। কিন্তু 2অণু CO_2-তে দুইটি C পরমাণু আছে এবং 1 অণু হাইড্রোজেনে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে।

∴ 1 অণু হাইড্রোকার্বনে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু ও 2টি কার্বন পরমাণু আছে। অতএব, হাইড্রোকার্বনের নির্ণেয় সংকেত $=C_2H_2$.

4.25 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 40cc গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের ইউডিয়মিটারে বিস্ফোরণের ফলে আয়তনের প্রথম সংকোচনের মান 60cc। উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন 80cc হলে হাইড্রোকার্বনের সংকেত নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ সংযুক্ত অক্সিজেনের আয়তন, v = প্রথম সংকোচন + কার্বন ডাইঅক্সাইডের আয়তন—হাইড্রোকার্বনের আয়তন।

$$\therefore v = 60cc + 80cc - 40cc = 100cc$$

আবার, 80cc CO_2 উৎপন্ন করতে অক্সিজেন দরকার হয় 80cc।

∴ হাইড্রোকার্বনের হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়েছে (100 − 80)cc বা 20 cc অক্সিজেন। কিন্তু 1 cc অক্সিজেন যুক্ত হয় 2cc হাইড্রোজেনের সঙ্গে। কাজেই, 20cc অক্সিজেন যুক্ত হয় 40cc হাইড্রোজেনের সঙ্গে।

সুতরাং, 40cc হাইড্রোকার্বনে 40cc হাইড্রোজেন আছে এবং হাইড্রোকার্বনটি 80cc CO_2 তৈরী করে।

বা, 1cc হাইড্রোকার্বনে 1cc হাইড্রোজেন আছে এবং হাইড্রোকার্বনটি 2cc CO_2 তৈরী করে।

বা, n অণু হাইড্রোকার্বনে n অণু হাইড্রোজেন আছে এবং হাইড্রোকার্বনটি 2n অণু CO_2 তৈরী করে।

বা, 1 অণু হাইড্রোকার্বনে 1 অণু হাইড্রোজেন আছে এবং হাইড্রোকার্বনটি 2 অণু CO_2 তৈরী করে।

কিন্তু হাইড্রোজেন অণু দ্বিপারমাণবিক এবং এক অণু CO_2-তে একটি C-পরমাণু আছে।

∴ 1 অণু হাইড্রোকার্বনে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু এবং 2টি C-পরমাণু আছে। সুতরাং, হাইড্রোকার্বনের নির্ণেয় সংকেত C_2H_2।

4.26 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ N_2O এবং NO-এর 50cc মিশ্রণে 100cc হাইড্রোজেন মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হলে 40cc নাইট্রোজেন উৎপন্ন হল। মিশ্রণের সংযুতি নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ ধরা যাক, NO-এর আয়তন xcc ও N_2O-এর আয়তন (50 − x) cc। এখন,

$$2NO + 2H_2 = 2H_2O + N_2$$

2 আয়তন + 2 আয়তন — 1 আয়তন

1 আয়তন — 1 আয়তন — $\frac{1}{2}$ আয়তন

$\therefore$ xcc NO বিস্ফোরণের ফলে $\frac{x}{2}$cc N_2 উৎপন্ন করে।

আবার, $N_2O + H_2 = H_2O + N_2$

1 আয়তন 1 আয়তন 1 আয়তন 1 আয়তন

$\therefore$ (50−x)cc N_2O বিস্ফোরণের ফলে (50−x) cc N_2 উৎপন্ন করে। কাজেই, NO এবং N_2O থেকে নাইট্রোজেনের আয়তন $= (\frac{x}{2} + 50 - x)$ cc ; সর্তানুসারে এই আয়তনের মান 40cc

$\therefore x + 100 - 2x = 80cc$

ব,, $x = (100 - 80)$ cc বা 20 cc

সুতরাং, NO-এর আয়তন=20cc এবং N_2O-এর আয়তন=(50−20) বা 30cc

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ :

1. টীকা লেখ : চিহ্ন, সংকেত, আণবিক সংকেত, স্থূল সংকেত, সংকেত-একক, রাসায়নিক সমীকরণ, যোজ্যতা, সংযুতিমিতি, ইউডিয়মিতি, রাসায়নিক বিক্রিয়া।

2. সংযুতিমিতির সূত্রগুলি লিপিবদ্ধ কর। রাসায়নিক পদার্থের সংকেতে এবং রাসায়নিক সমীকরণে এই সূত্রগুলির কি প্রকাশ ঘটে ? ব্যাখ্যা সহ বল।

3. নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি থেকে আমরা কোন্ কোন্ তথ্য জানতে পারি আর কোন্ কোন্ তথ্য জানতে পারি না তা বল :

(i) $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$
(ii) $AgNO_3 + NaCl = AgCl + NaNO_3$
(iii) $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$

4. নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি সম্পূর্ণ কর :

(i) $FeS + HCl = FeCl_2 +$
(ii) $KClO_3 + MnO_2 = KCl + MnO_2 +$
(iii) $KMnO_4 + HCl = KCl + MnCl_2 + H_2O +$
(iv) $+ SO_2 + K_2Cr_2O_7 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 +$
(v) $H_2O_2 + PbS = PbSO_4 +$

5. বিভিন্ন ধাতুর সম্ভাব্য অক্সাইড, হাইড্রক্সাইড, নাইট্রেট, ক্লোরাইড, সালফেট ও সালফাইডের নাম ও সংকেত লেখ।

6. যেসব মৌলের একাধিক যোজ্যতা আছে তাদের নাম এবং বিভিন্ন যোজ্যতার যৌগগুলির নাম ও সংকেতের একটি তালিকা প্রস্তুত কর।

7. গোল্ড, সিলভার, সোডিয়াম, পটাসিয়াম, মারকারি ও আয়রনের চিহ্ন কি ? এইরূপ চিহ্ন হওয়ার কারণ কি ?

8. O=C=O হল কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠনভিত্তিক সংকেত। এখানে O এবং C কথার অর্থ কি ? ব্যবহারিক ক্ষেত্রে 'C' কি প্রকাশ করে ?

9. অক্সিজেনের সংকেত O_2 কিন্তু আয়রনের সংকেত Fe_2 নয় কেন ?

10. যোজ্যতার আধুনিক সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী ম্যাগনেসিয়ামের যোজ্যতা 2 কেন বল ?

11. যোজ্যতার সংজ্ঞার্থে বলা হয়েছে যে, অন্য পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে কোনো মৌলের একটি পরমাণুর যতগুলি ইলেকট্রন অংশ গ্রহণ করে সেই সংখ্যাটিকে মৌলটির যোজ্যতা বলে। রাসায়নিক সংযোগের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের কথা এল কেন ? পরমাণু এই ইলেকট্রন কোথা থেকে পায় ?

12. এমন একটি মৌলের নাম কর যেটি বেশী ধাতবধর্মী হওয়া সত্বেও যৌগের সংকেত লেখার ক্ষেত্রে বা যৌগের নামকরণের ক্ষেত্রে অনেক সময় শেষে স্থান পায়।

13. হিলিয়ামের যোজ্যতা শূন্য কেন ?

14. কোনো বিক্রিয়ায় রাসায়নিক সমীকরণ যদি ধরা যায় S.T.P.-এর জন্য তাহলে অতিরিক্ত সুবিধা কি পাওয়া যায় ?

(B) গাণিতিক ঃ

1. 1·574 গ্রাম-পরমাণু কপারের ভর কত ? এই পরিমাণে কপারের কতগুলি পরমাণু আছে ? উঃ 100g, $9{\cdot}48 \times 10^{23}$ [4.1 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

2. 0·40 মোল H_2S.-এ কতগুলি H_2S-এর অণু আছে ?
উঃ 2.41×10^{23} [4.2 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

3. 9·4 মোল C_2H_4-এ কতগুলি কার্বন পরমাণু আছে ?
উঃ 113×10^{23} [4.3 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

4. 9·4 মোল C_2H_4-এ কত গ্রাম-পরমাণু হাইড্রোজেন এবং কত মোল H আছে ?
উ ঃ 37·6 মোল H

5. 9·4 মোল C_2H_4-এ কত গ্রাম কার্বন আছে ?
উঃ 225·8068g [4.5 নং উদাহরণ দ্রষ্টব্য]

6. 37·900 g হাইড্রোজেন কত গ্রাম C_2H_4-এ আছে ? উঃ 264 গ্রাম

7. গ্লুকোজের স্থূল সংকেত CH_2O এবং আণবিক গুরুত্ব 180·16 amu. হলে গ্লুকোজের আণবিক সংকেত নির্ণয় কর। উঃ $C_6H_{12}O_6$

8. ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের স্থূল সংকেত P_2O_5 এবং আণবিক গুরুত্ব 283·87, ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের আণবিক সংকেত নির্ণয় কর।

9. $C+O_2=CO_2$ হলে (i) 1·5 মোল C থেকে কত মোল CO_2 পাওয়া যায় ? (ii) 2·5 l অক্সিজেন থেকে কত লিটার CO_2 পাওয়া যায়? এবং (iii) 3g কার্বনের সঙ্গে কত গ্রাম অক্সিজেন বিক্রিয়া করে ? C এবং O-এর পাঃ গুঃ 12 এবং 16। উঃ (i) 1·5 মোল (ii) 2·5 l এবং (iii) 8g

10. কোনো যৌগে প্রতি 2 মোল H-এর জন্য এক মোল C আছে। যৌগের আণবিক গুরুত্ব 28·054, যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় কর। উঃ C_2H_4

11. কোনো যৌগে প্রতি 2g Ag-এর জন্য 0·662g Cl থাকলে যৌগটির সংকেত-একক নির্ণয় কর। উঃ AgCl

12. হাইড্রোজেন ও বোরনের কোনো যৌগে যদি 88·45%বোরন থাকে তাহলে যৌগটির স্থূল সংকেত কি ? উঃ B_5H_7

13. কোনো যৌগে সোডিয়াম ও বোরনের শতকরা সংযুতি যথাক্রমে 22·9 এবং 21·5 হলে যৌগটির স্থূল সংকেত নির্ণয় কর। উঃ $Na_2B_4O_7$ [সোডিয়াম ও বোরনের পরিমাণের যোগফল 100 থেকে বাদ দিয়ে অক্সিজেনের শতকরা সংযুতি পাওয়া যায়।]

14. নীচের যৌগগুলির ওজনভিত্তিক শতকরা সংযুতি নির্ণয় কর :

(i) $K_2Cr_2O_7$, (ii) Cu_2O, (iii) NH_4Cl, (iv) Na_2SO_3

উঃ (i) K—26·58%, Cr—35·4%, O—38·02% ; (ii) Cu—88·82%, O—11·18% ; (iii) N—26·2%, H—7·5%, Cl—66·3%, (iv) Na—36·5%, S25·4%, O—38·1%

15. নিম্নলিখিত গ্যাসগুলির ওজন নির্ণয় কর :

(i) 17°C উষ্ণতায় এবং 770 mm চাপে 450 cc HCl। উঃ 0·70g

(ii) 20°C উষ্ণতায় এবং 750 mm চাপে 3·5 l SO_2। উঃ 9·20g

(iii) 19°C উষ্ণতায় এবং 745 mm চাপে 6·2 l N_2O। উঃ 11·2g

16. 10g মারকিউরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত করলে যে পরিমাণ অক্সিজেন পাওয়া যায় তার 17°C এবং 748 mm চাপে আয়তন কত ? উঃ 560 cc

17. 5g অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন করতে S. T. P-তে কত আয়তনের HCl (g) এবং NH_3 (g) লাগবে ? উঃ 2·09 l, 2·09 l (প্রায়)

18. 6·4g কুইকলাইম (CaO) তৈরী করতে কত গ্রাম ক্যালসিয়াম কার্বনেট উত্তপ্ত করার প্রয়োজন ? উঃ 11·43g (প্রায়)

19. 7·96g কিউপ্রিক অক্সাইডকে কিউপ্রিক সালফেটে পরিণত করতে কত গ্রাম সালফিউরিক অ্যাসিড লাগবে ? উঃ 9·8g প্রায়।

20. হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড জল ও অক্সিজেনে বিয়োজিত হলে 10*l* অক্সিজেনের জন্য কত গ্রাম হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড দরকার ? বিয়োজনের সমীকরণটি হল : $2H_2O_2=2H_2O+O_2$ । উঃ 30·4g

21. S. T. P-তে কার্বন মনোক্সাইড গ্যাসকে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করতে হলে 3 *l* অক্সিজেনের জন্য কত লিটার CO-এর প্রয়োজন হয় এবং কত লিটার CO_2 উৎপন্ন হয় ? উঃ ...6 *l*, 6 *l*

22. কত গ্রাম সোডিয়াম বাইকার্বনেটের বিয়োজনে 4*l* CO_2 S.T.P-তে পাওয়া যায় তা মোল-এককে গণনা কর। সোডিয়াম বাইকার্বনেটের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব 84g এবং বিয়োজনের সমীকরণ :

$2NaHCO_3=Na_2CO_3+H_2O+CO_2$ উঃ 30g

23. S. T. P-তে কত লিটার অক্সিজেন 1000 *l* H_2S-এর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে তা মোল-এককে গণনা কর। উঃ 1500 *l*

24. $Na_2SO_3+2HCl=2NaCl+H_2O+SO_2$; তাহলে 2·7 মোল HCl ব্যবহার করে কত গ্রাম SO_2 পাওয়া যায় ? উঃ 66g

25. $2KMnO_4+16HCl=5Cl_2+2KCl+2MnCl_2+8H_2O$; 0·375 মোল Cl_2 পেতে হলে কত মোল $KMnO_4$ ব্যবহার করতে হবে ? উঃ 0·15 মোল।

26. 20 cc মিথেন গ্যাসের সঙ্গে 50 cc অক্সিজেন মিশিয়ে ইউডিয়-মিটার যন্ত্রে বিস্ফোরণ ঘটানো হল, KOH দ্রবণ মিশিয়ে উৎপন্ন CO_2-কে সরিয়ে নেওয়া হল। ইউডিয়মিটারে কি কোনো উদ্বৃত্ত গ্যাস থাকবে ? এই গ্যাসের এবং শোষিত CO_2-এর আয়তন নির্ণয় কর। উঃ 10 cc, 20 cc

27. মিথেন, কার্বন মনোক্সাইড এবং হাইড্রোজেনের একটি মিশ্রণের 20 cc-কে অতিরিক্ত অক্সিজেনের সঙ্গে মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হল এবং 13·00 cc পরিমাণ গ্যাস কমে গেল। পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের সঙ্গে মিশিয়ে ঝাঁকুনি দিতে আরও 14·00 cc আয়তনের সংকোচন ঘটলো। মিশ্রণটির উপাদানগুলির অনুপাত নির্ণয় কর। উঃ $CH_4:CO:H_2=2:5:3$

28. কোনো গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের 20 cc-এর সঙ্গে 100 cc অক্সিজেন মিশিয়ে ইউডিয়মিটার যন্ত্রে জারিত করা হল। ফলে আয়তনের প্রথম সংকোচনের পরিমাণ হল 40cc। আবার, KOH-এর দ্বারা শোষণের পরে আরও 40 cc গ্যাস উদ্বৃত্ত রইলো। হাইড্রোকার্বনের সংকেত নির্ণয় কর। উঃ C_2H_4

পঞ্চম অধ্যায়

রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, ডুলং-পেটিটের সূত্র ও সমাকৃতিত্ব
(Chemical equivalent, Dulong-Petit's law and isomorphism)

5.1 রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক : সূচনা (Chemical equivalent : Introduction) : যদি দুইটি গরুর মূল্য একটি ঘোড়ার মূল্যের সমান হয় তবে পশু হিসেবে তারা ভিন্ন হলেও মূল্যের দিক থেকে তারা সমতুল। আবার, একটি স্ত্রীলোক যদি দুইটি বালকের সমান কাজ করতে সক্ষম হয় তবে আমরা বলি দুইটি বালক এবং একটি স্ত্রীলোক কার্য ক্ষমতার দিক থেকে সমতুল। ঠিক তেমনি যদি x ভাগ ওজনের A মৌল এবং y ভাগ ওজনের B মৌল পৃথক পৃথকভাবে z ভাগ ওজনের C মৌলের সঙ্গে যুক্ত হতে পারে তবে বলা যায় x ভাগ ওজনের A মৌল এবং y ভাগ ওজনের B মৌল রাসায়নিক সংযোগের দিক থেকে সমতুল। উদাহরণস্বরূপ, পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিন এবং 10·24 ভাগ ওজনের ফস্ফরাসের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দুইটি পৃথক পৃথক যৌগ গঠন করে। দেখা যাচ্ছে, 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিনের যত পরিমাণ হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করার ক্ষমতা আছে ঠিক সেই পরিমাণ হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হবার ক্ষমতা আছে 10·24 ভাগ ওজনের ফস্ফরাসের। অর্থাৎ, একই পরিমাণ হাইড্রোজেনের সঙ্গে ক্লোরিন ও ফস্ফরাসের যুক্ত হবার ক্ষমতা বিভিন্ন এবং বলা যায় রাসায়নিক সংযোগের ক্ষেত্রে 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিন 10·24 ভাগ ওজনের ফস্ফরাসের সঙ্গে তুল্য। অর্থাৎ যদি ক্লোরিন ও ফস্ফরাসের মধ্যে রাসায়নিক সংযোগ ঘটে তবে 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিন এবং 10·24 ভাগ ওজনের ফস্ফরাসের মধ্যে বা ঐ ওজনদ্বয়ের কোনো গুণিতকের অনুপাতে তা হবে। P এবং Cl-ঘটিত এমন কোনো যৌগ কখনই গঠিত হবে না যাতে Cl আছে 35·45 ভাগ ওজনের কম এবং P আছে 10·24 ভাগ ওজনের কম। মৌলগুলির এই যে ন্যূনতম পরিমাণ যার অনুপাতে বিভিন্ন মৌলের মধ্যে রাসায়নিক সংযোগ ঘটে তাকে বলে **রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বা তুল্যাঙ্ক বা যোজনভার** (Equivalent or combining weight)।

তুল্যাঙ্কের স্কেল : প্রতিটি মৌলেরই তুল্যাঙ্ক পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করা সম্ভব যদি একটি প্রমাণ (Standard) স্থির করা যায়। বস্তুতঃ কোনো একটি প্রমাণ মৌলের ন্যূনতম ওজনের সঙ্গে অপর মৌলগুলি যে ভিন্ন ভিন্ন ওজনে যুক্ত হয় তাই হবে মৌলগুলির তুল্যাঙ্ক। ডাল্টন 1 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনকে প্রমাণ ধরে ছিলেন। পরবর্তীকালে বিভিন্ন সুবিধার জন্য আটভাগ ওজনের অক্সিজেনকে প্রমাণ ধরা হয়। কখন কখন 35·45 ভাগ ওজনের Cl-কেও প্রমাণ ধরা হয়।

মৌলের তুল্যাঙ্ক (Equivalent of an element) : কোনো একটি মৌলের যত ভাগ ওজন 8·00 ভাগ ওজনের অক্সিজেন অথবা 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন অথবা 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হতে পারে বা ঐ পরিমাণ অক্সিজেন, হাইড্রোজেন বা ক্লোরিনকে এগুলির যৌগ থেকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে সেই সংখ্যাকে ঐ **মৌলের রাসায়নিক তুল্যাংক বলে।**

$$\therefore \text{ মৌলের তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{মৌলের ওজন}}{\text{মৌলের সঙ্গে যুক্ত বা তার দ্বারা প্রতিস্থাপিত প্রমাণ মৌলের ওজন}}$$

অতএব, রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক একটি অনুপাত মাত্র। এর কোনো একক নেই।

উদাহরণ : (i) 20 ভাগ ওজনের ক্যালসিয়াম 8·00 ভাগ ওজনের অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অক্সাইড উৎপন্ন করে। ∴ Ca-এর তুল্যাঙ্ক 20। (ii) 12·16 ভাগ ওজনের ম্যাগনেসিয়াম 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেনকে H_2SO_4-এর দ্রবণ থেকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে।

∴ Mg-এর তুল্যাঙ্ক 12·16।

(iii) 23 ভাগ ওজনের সোডিয়াম 35·45 ভাগ ওজনের ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয় বলে Na-এর তুল্যাঙ্ক 23।

যৌগের তুল্যাঙ্ক (Equivalent of a compound) : কোনো যৌগের যত ভাগ ওজনে, ঐ যৌগের বিক্রিয়াশীল উপাদানটির এক তুল্যাঙ্ক ভাগ বর্তমান থাকে তাকেই **যৌগটির তুল্যাঙ্ক** বলে। ধাতব যৌগের ক্ষেত্রে কাট্যায়ন (ধাতব অংশ), অ্যাসিডের ক্ষেত্রে প্রতিস্থাপনযোগ্য H পরমাণু এবং ক্ষারের ক্ষেত্রে প্রতিস্থাপন যোগ্য O-পরমাণু বা OH-মূলক বিক্রিয়াশীল উপাদান। আবার, কোনো যৌগের

$$\text{বিক্রিয়াশীল উপাদানের তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{উপাদানটির সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{উপাদানটির যোজ্যতা}}$$

$\therefore$ কোনো যৌগের তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{\text{যৌগের সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{সংকেত-এককে উপাদানটির মোট যোজ্যতা}}$

উদাহরণ ঃ $Ca_3(PO_4)_2$-এর তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{\text{এই যৌগের সংকেত-গুরুত্ব (f)}}{\text{তিনটি Ca পরমাণুর মোট যোজ্যতা}}$

$=\dfrac{f}{6}$ (প্রতিটি Ca-পরমাণুর যোজ্যতা দুই)

মূলকের তুল্যাঙ্ক ঃ (**Equivalent of a radical**) ঃ একটি মূলকের যত ভাগ কোনো বিক্রিয়াশীল মৌলের এক তুল্যাঙ্কের সঙ্গে যুক্ত হয় তাই **ঐ মূলকের তুল্যাঙ্ক।**

উদাহরণ ঃ H_2SO_4-এ SO_4-এর তুল্যাঙ্ক $=48$। কারণ 96 ভাগ SO_4 মূলক যুক্ত হয়েছে 2 তুল্যাঙ্ক পরিমাণ H-এর সঙ্গে। 1 তুল্যাঙ্ক H-এর সঙ্গে যুক্ত হয় 48 ভাগ SO_4 মূলক।

তুল্যাঙ্ক ও পারমাণবিক গুরুত্বের সম্পর্ক ঃ (**Relation between Equivalent and Atomic weight**) ঃ ধরা যাক, কোনো মৌলের পাঃ গুঃ $=A$, তুল্যাঙ্ক $=E$ এবং যোজ্যতা $=V$। যোজ্যতার সংজ্ঞার্থ থেকে পাওয়া যায় ঃ

V সংখ্যক H পরমাণু মৌলের 1টি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়।

অতএব, V ভাগ ওজনের H যুক্ত হয় A ভাগ ওজনের মৌলটির সঙ্গে।

বা, 1 ,, ,, H ,, ,, $\dfrac{A}{V}$,, ,, ,, ,,

অতএব, তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী, $\dfrac{A}{V}=E$। বা, $A=E\times V$

অর্থাৎ, **পাঃ গুঃ $=$ তুল্যাঙ্ক $\times$ যোজ্যতা।**

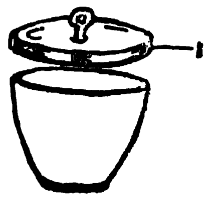
যে-সমস্ত মৌলের যোজ্যতা একাধিক তাদের তুল্যাঙ্কও একাধিক। সে-ক্ষেত্রে মৌলটি অপর একটি মৌলের সঙ্গে কেবল একটি নয় একাধিক যৌগ গঠনে সক্ষম। গুণানুপাত সূত্র থেকেও এই সিদ্ধান্তে আসা যায়।

উদাহরণ ঃ কপারের যোজ্যতা 1 এবং 2। ফলে অক্সিজেনের সঙ্গে কপার দুইটি অক্সাইড গঠন করে—Cu_2O ও CuO।

Cu_2O তে 63·54 ভাগ ওজনের Cu 8 ভাগ ওজনের O-এর সঙ্গে যুক্ত হয়। CuO তে 31·77 ভাগ ওজনের Cu 8 ভাগ ওজনের O-এর সঙ্গেযুক্ত হয়।

তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি (**Different methods for the determination of equivalent of elements**) ঃ **(i) অক্সিজেনের সঙ্গে**

(i) **প্রত্যক্ষ সংযোগ পদ্ধতি ঃ** নির্দিষ্ট ওজনের মৌলকে দহন করে সম্পূর্ণরূপে অক্সাইডে রূপান্তরিত করা হয়। পরে ঠাণ্ডা করে অক্সাইডের ওজন লওয়া হয়। অক্সাইডটি অবশ্যই কঠিন হবে। পূর্বে ওজন-করা ঢাকনি-সহ একটি পোর্সিলেন ক্রুসিবলে (5.1.1 নং চিত্র) কিছু ধাতু রেখে পুনরায় ক্রুসিবলটির ওজন লওয়া হয়। এইবার সতর্কতার সঙ্গে বুনসেন দীপের সাহায্যে ক্রুসিবলটিকে উত্তপ্ত করলে দহনের ফলে ধাতুটি অক্সাইডে রূপান্তরিত হয়ে যাবে। এখন ক্রুসিবলটিকে একটি শোষকাধারে ঠাণ্ডা করে ওজন লওয়া হয়।



1. ঢাকনি
5.1.1 নং চিত্র

যতক্ষণ না ওজন নিত্য (Constant) হয় ততক্ষণ পর্যায়ক্রমে উত্তপ্ত করা, শীতল করা ও ওজন লওয়া হয়।

গণনা ঃ ধরা যাক, ঢাকনি-সহ শূন্য ক্রুসিবলের ওজন $= W_1g$

ক্রুসিবল + ঢাকনি + ধাতুর ওজন $= W_2g$

$\therefore$ ধাতুর ওজন $= (W_2 - W_1)g$

ক্রুসিবল + ঢাকনি + অক্সাইডের ওজন $= W_3g$

$\therefore$ ধাতুর সঙ্গে যুক্ত অক্সিজেনের ওজন $= (W_3 - W_2)g$

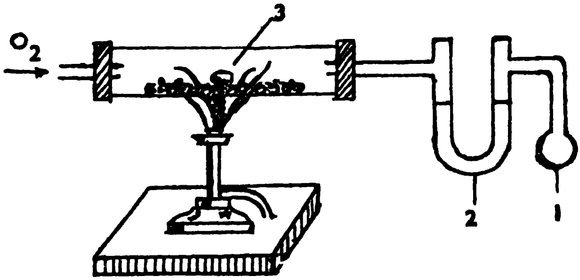
বা, $(W_3 - W_2)g$ অক্সিজেন যুক্ত হয় $(W_2 - W_1)g$ ধাতুর সঙ্গে

$\therefore$ ধাতুর তুল্যাঙ্ক $= \dfrac{W_2 - W_1}{W_3 - W_2} \times 8$

ম্যাগনেসিয়াম ধাতুর তুল্যাঙ্ক উপরিউক্ত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

কার্বনের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় (Determination of equivalent of carbon) ঃ পূর্বে ওজন-করা একটি পোর্সিলেন বোটে কিছু বিশুদ্ধ অনার্দ্র শর্করা-চারকোল (Sugar Charcoal) নিয়ে বোটের পুনরায় ওজন লওয়া হয়। এবার বোটটিকে ভূমি থেকে কিছুটা উপরে রক্ষিত একটি অনুভূমিক কাঁচের নলের মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। কাঁচের নলটির ভিতরে থাকে CuO। নলের দুই প্রান্তে ছিপির সাহায্যে দুইটি সরু নল প্রবেশ করানো হয়। যখন বোটটি প্রবেশ করানো হয় তখন একদিকের ছিপি খুলে বোটটি যথাস্থানে রেখে আবার ছিপি এঁটে দেওয়া হয়। কাঁচনলের এক প্রান্তের নল দিয়ে চালনা করা হয় অনার্দ্র ও বিশুদ্ধ অক্সিজেন এবং অপর প্রান্তের নলের সঙ্গে যুক্ত থাকে যথাক্রমে একটি KOH-পূর্ণ U-টিউব ও বিগলিত $CaCl_2$

পূর্ণ একটি গার্ড টিউব (Guard tube)। অক্সিজেন চালনা করার পূর্বে গার্ড টিউব সহ U-টিউবটির ওজন লওয়া হয়। এবার দুই প্রান্তের ছিপি ভালো ভাবে এঁটে অক্সিজেন চালনা করা হয়। অনুভূমিক কাঁচ নলটিকে বুনসেন দীপের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়। অক্সিজেনের মধ্যে উত্তপ্ত



1. $CaCl_2$-গার্ড টিউব 2. KOH-পূর্ণ U-টিউব 3. ক্রুসিবল
5.1.2 নং চিত্র

চারকোলের দহনের ফলে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় এবং তা KOH দ্রবণের দ্বারা শোষিত হয়। ফলে U-টিউবের ওজন বাড়ে। দহনের ফলে CO_2-এর সঙ্গে কিছু CO-ও উৎপন্ন হয়। কিন্তু কাঁচনলের ভিতরে রক্ষিত CuO-এর দ্বারা তা CO_2-এ রূপান্তরিত হয়। চারকোলের দহন সম্পূর্ণ হওয়ার পরও কিছুক্ষণ অক্সিজেন চালনা করা হয়। তারপর ঠাণ্ডা হলে গার্ড টিউবসহ U-টিউবটির ওজন লওয়া হয় (5.1.2 নং চিত্র)।

গণনা ঃ ধরা যাক, খালি পোর্সিলেন বোটের ওজন $= W_1 g$

বোট ও চারকোলের যুক্ত ওজন $= W_2 g$

$\therefore$ চারকোলের (অর্থাৎ কার্বনের ওজন) $= (W_2 - W_1) g$

পরীক্ষার পূর্বে, গার্ডটিউব ও U-টিউবের ওজন $= W_3 g$

" পরে, " " " " $= W_4 g$

$\therefore$ উৎপন্ন CO_2-এর ওজন $= (W_4 - W_3) g$

$\therefore$ সংযুক্ত O_2-এর ওজন $= [\ (W_4 - W_3) - (W_2 - W_1)\ ] g$

$$\therefore \text{ তুল্যাঙ্ক } = \frac{(W_2 - W_1) \times 8}{(W_4 - W_3) - (W_2 - W_1)}$$

$$\therefore \text{ কার্বনের তুল্যাঙ্ক } = \frac{8 \times \text{কার্বনের ওজন}}{\text{অক্সিজেনের ওজন}}$$

5.1 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·344g টিন অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 0·4365g অক্সাইড উৎপন্ন করে। টিনের তুল্যাঙ্ক কত?

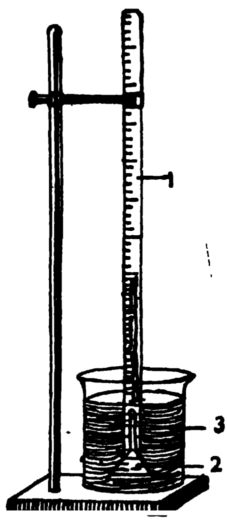
সমাধান : অক্সাইডের ওজন=0·4365g টিনের ওজন =0·3440g.

∴ অক্সিজেনের ওজন =0·0925g.

$$\therefore \text{ টিনের তুল্যাঙ্ক} = \frac{0 \cdot 3440 \times 8}{0 \cdot 0925} = 29 \cdot 68$$

(ii) **হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপন পদ্ধতি** (**Method of displacement of hydrogen**) : যে-সকল ধাতু অ্যাসিড বা ক্ষার থেকে হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করতে পারে তাদের তুল্যাঙ্ক নির্ধারণ এই পদ্ধতিতে করা যায়।

রাসায়নিক তুলায় ওজন-করা কিছু ধাতু নিয়ে জলপূর্ণ একটি বিকারে রাখা হয়। এবার একটি ফানেল উল্টিয়ে ধাতুর টুকরাটির উপর রাখা হয়। ফানেলের উপর উল্টিয়ে রাখা হয় জলপূর্ণ অংশাঙ্কিত একটি এক-মুখ-খোলা টিউব। এবার বিকারে কিছু গাঢ় H_2SO_4 যোগ করা হয়। বিক্রিয়া ভালোভাবে ঘটার জন্য সামান্য $CuSO_4$ যোগ করা হয়। অ্যাসিড ও ধাতুর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন বিমুক্ত হয় এবং এই হাইড্রোজেন অংশাঙ্কিত নল মধ্যস্থিত জলের নিম্ন অপসারণের দ্বারা সঞ্চিত হয়। বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হয়ে গেলে অংশাঙ্কিত নলের মুখটি চেপে ধরে তাকে বিকার থেকে উঠিয়ে একটি বড় জলাধারে নিমজ্জিত করা হয়; এমনভাবে নিমজ্জিত করা হয় যাতে নলের ভিতরের ও বাইরের জলতল সমান থাকে। এমতাবস্থায় নলের ভিতরের গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। ফলে বায়ুমণ্ডলের চাপে সঞ্চিত গ্যাসের আয়তন পাওয়া যায়। নলের অংশাঙ্ক থেকে তার পাঠ নেওয়া হয়।



1. উল্টানো অংশাঙ্কিত টিউব 2. উল্টানো ফানেল 3. বিকার
5.1.3 নং চিত্র

গণনা : মনে করা যাক, ধাতুর ওজন=Wg

বায়ুমণ্ডলের চাপে (P) ও গবেষণাগারের উষ্ণতায় (t°C) সঞ্চিত গ্যাসের আয়তন=Vml.

যদি গবেষণাগারের উষ্ণতায় (t°C) জলীয় বাষ্পের চাপ

f mm হয় তবে S. T. P-তে H_2-এর আয়তন $= \frac{V \times (P-f) \times 273}{760\ (273+t)}$ ml.

$= V_1$ ml, ধরা যাক।

এবার, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী,

S.T.P-তে 1 ml H_2-এর ওজন $= 0{\cdot}00009$g

$\therefore$ V_1 ml হাইড্রোজেনের ওজন $= 0{\cdot}00009 \times V_1$ g

$\therefore$ ধাতুর তুল্যাঙ্ক $= \frac{W \times 1{\cdot}008}{0{\cdot}00009 \times V_1}$

$= \frac{\text{ধাতুর ওজন} \times 1{\cdot}008}{\text{প্রতিস্থাপিত হাইড্রোজেনের ওজন}}$

Zn, Mg, Al, Fe, ইত্যাদি ধাতুর তুল্যাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব।

5.2 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ একটি ধাতুর 164 mg পরিমাণ H_2SO_4-এ দ্রবীভূত করলে যে হাইড্রোজেন বিমুক্ত হয় প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে তার আয়তন 31 ml হলে ধাতুটির তুল্যাঙ্ক কত ?

সমাধান ঃ S.T.P-তে 1 ml হাইড্রোজেনের ওজন $= 0{\cdot}00009$ g

$\therefore$,, 31 ml ,, ,, $= 0{\cdot}00009 \times 31$ g

$= 31 \times 0.09$ mg

$\therefore$ $31 \times 0{\cdot}09$ mg H_2 প্রতিস্থাপিত হয় 164 mg ধাতু কর্তৃক

$\therefore$ $1{\cdot}008$,, ,, ,, $\frac{164 \times 1{\cdot}008}{31 \times 0.09}$ mg ,, ,,

$\therefore$ ধাতুটির তুল্যাঙ্ক $= 59{\cdot}25$

(iii) পরোক্ষভাবে মৌলকে অক্সাইড যৌগে রূপান্তর পদ্ধতি ঃ পূর্বে ওজন-করা এক টুকরা ধাতুকে উত্তপ্ত গাঢ় HNO_3-তে দ্রবীভূত করে সতর্কভাবে দ্রবণকে উত্তাপে শুষ্ক করা হয়। অতঃপর অবশেষটিকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করে ধাতব অক্সাইডে রূপান্তরিত করা হয়। এবার শীতল করে অক্সাইডের ওজন লওয়া হয়।

ঢাকনি-সহ একটি পোর্সিলেন ক্রুসিবলের নিত্য ওজন নিয়ে তাতে এক টুকরা ধাতু রেখে পুনরায় ওজন লওয়া হয়। এবার ঐ ক্রুসিবলে বিন্দু বিন্দু করে গাঢ় HNO_3 যোগ করা হয় যাতে ধাতুটি সম্পূর্ণভাবে দ্রবীভূত হয়। দ্রবণ-সহ ক্রুসিবলটিকে একটি উত্তপ্ত জলাধারে (Hot water bath) বসিয়ে শুষ্ক করা হয়। এইবার তাকে বুনসেন দীপের সাহায্যে তীব্রভাবে উত্তপ্ত

করে ধাতব নাইট্রেটকে অক্সাইডে রূপান্তরিত করা হয়। এখন শোষকাধারে ঠাণ্ডা করে ক্রুসিবলের নিত্য ওজন লওয়া হয়।

গণনা ঃ ধরা যাক, ঢাকনি+ক্রুসিবলের ওজন$=W_1g$

ঢাকনি+ক্রুসিবল+ধাতুর ওজন$=W_2g$, $\therefore$ ধাতুর ওজন$=(W_2-W_1)g$

ঢাকনি+ক্রুসিবল+ধাতুর অক্সাইডের ওজন$=W_3g$

$\therefore$ ধাতুর সঙ্গে সংযুক্ত অক্সিজেনের ওজন$=(W_3-W_2)g$

$\therefore$ ধাতুর তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{W_2-W_1}{W_3-W_2}\times 8$

Cu, Sn, Pb, ইত্যাদি ধাতুর তুল্যাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়।

5.3 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·81g একটি ধাতুকে HNO_3-তে দ্রবীভূত করে নাইট্রেট লবণে রূপান্তরিত করা হল। এইবার এই দ্রবণকে প্রথমে বাষ্পীভূত করে এবং অবশেষকে পরে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করে অক্সাইডে রূপান্তরিত করা হল। অক্সাইডের ওজন 1·01g। ধাতুটির তুল্যাঙ্ক কত?

সমাধান ঃ অক্সাইডের ওজন$=1·01g$, ধাতুর ওজন$=0·81g$

$\therefore$ অক্সিজেনের ,, $=0·20g$

$\therefore$ 0·20g অক্সিজেন যুক্ত হয় 0·81g ধাতুর সঙ্গে

$\therefore$ 8·00g ,, ,, ,, $\dfrac{0·81}{0·20}\times 8=32·4g$ ধাতুর সঙ্গে

অতএব, সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী ধাতুর তুল্যাঙ্ক$=32·4$।

(iv) হাইড্রোজেন দ্বারা মৌলের অক্সাইডকে মৌলে বিজারণ পদ্ধতি ঃ ওজন-করা কিছু অক্সাইডকে প্রথমে শুষ্ক ও বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করে মৌলে রূপান্তরিত করা হয় এবং এইভাবে প্রাপ্ত মৌলের ওজন লওয়া হয়। Fe, Cu, ইত্যাদি ধাতুর তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ে এই পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায় (পরীক্ষা অনুঃ 2.1-এর "স্থির অনুপাত সূত্রের পরীক্ষালব্ধ প্রমাণের" অনুরূপ)।

গণনা ঃ ধরা যাক, ধাতুর অক্সাইডের ওজন$=W_1g$

বিজারণের ফলে প্রাপ্ত ধাতুর ওজন$=W_2g$

$\therefore$ ধাতুর সঙ্গে যুক্ত O_2-এর ওজন$=(W_1-W_2)g$

$\therefore$ ধাতুর তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{W_2\times 8}{W_1-W_2}$

(v) ক্লোরিনের সঙ্গে সংযোগ পদ্ধতি ঃ সিলভারের তুল্যাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়। ওজন-করা বিশুদ্ধ সিলভারের একটি টুকরাকে

মোটামুটি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে সম্পূর্ণ দ্রবীভূত করা হয়। এখন দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করে তাতে ফোঁটা ফোঁটা করে HCl দ্রবণ যোগ করা হয়। AgCl-এর সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়। অধঃক্ষেপন সম্পূর্ণ হলে অধঃক্ষেপটিকে একটি ওজন-করা গুচ্ ক্রুসিবলে (5.1.4 নং চিত্র) পরিস্রাবণ (Filter) করা হয় এবং অধঃক্ষেপকে প্রথমে লঘু HNO_3 ও পরে জল দ্বারা এমন ভাবে ধৌত করা হয় যাতে অধঃক্ষেপের গায়ে ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) লেগে না থাকে। এখন ক্রুসিবলটিকে একটি বায়ু-কোষ্ঠে (air-oven) রেখে 130°C-এ উত্তপ্ত করা হয়। প্রায় ঘণ্টা দুয়েক উত্তপ্ত করে ক্রুসিবলটিকে শোষকাধারে ঠাণ্ডা করে ওজন লওয়া হয়। যতক্ষণ না ওজন নিত্য হয় ততক্ষণ পর্যায়ক্রমে উত্তপ্ত করা, ঠাণ্ডা করা ও ওজন লওয়া চলতে থাকবে। শূন্য গুচ্ ক্রুসিবল ও AgCl-সহ ক্রুসিবলের ওজনের পার্থক্য থেকে AgCl-এর ওজন পাওয়া যাবে।



গুচ্ ক্রুসিবল
5.1.4 নং চিত্র

গণনা ঃ মনে করা যাক, সিলভারের ওজন $= W_1 g$.

অধঃক্ষিপ্ত AgCl-এর ওজন $= W_2 g$.

$\therefore$ ক্লোরিনের ওজন $= (W_2 - W_1) g$

$\therefore$ Ag-এর তুল্যাঙ্ক $= \dfrac{W_1 \times 35{\cdot}45}{W_2 - W_1}$

(vi) ধাতুর ক্লোরাইডের দ্রবণ থেকে $AgNO_3$ দ্বারা অধঃক্ষেপন পদ্ধতি ঃ Na, K, ইত্যাদি ধাতুর তুল্যাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব। ওজন-করা কিছু বিশুদ্ধ NaCl-কে জলে দ্রবীভূত করে দ্রবণ তৈরী করা হয়। দ্রবণে অল্প পরিমাণে HNO_3 মিশিয়ে এতে ফোঁটা ফোঁটা করে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করা হয়। ফলে AgCl-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়। $AgNO_3$ এমন পরিমাণে যোগ করা হয় যাতে অধঃক্ষেপন সম্পূর্ণ হয়। এবার পূর্বে ওজন-করা গুচ্ ক্রুসিবলে অধঃক্ষেপ পরিস্রাবণ করা হয়। এই অধঃক্ষেপকে প্রথমে লঘু HNO_3 দ্রবণ ও পরে জল দ্বারা ধৌত করে বায়ু-কোষ্ঠে 130°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। পরে শোষকাধারে ঠাণ্ডা করে নিত্য ওজন লওয়া হয়।

গণনা ঃ ধরা যাক, ধাতুর ক্লোরাইডের ওজন $=W_1g$

খালি গুচ্ ক্রুসিবলের ওজন $=W_2g$

খালি ক্রুসিবল $+AgCl$-এর ওজন $=W_3g$

$\therefore$ AgCl-এর ওজন $=(W_3-W_2)g$

সিলভার ও ক্লোরিনের পাঃ গুঃ যথাক্রমে x ও y হলে AgCl-এর আণবিক গুরুত্ব হবে $(x+y)$।

$\therefore$ $(x+y)g$ AgCl-এ Cl-এর পরিমাণ $=yg$

$\therefore$ $(W_3-W_2)g$,, ,, ,, $=\dfrac{y\times(W_3-W_2)}{(x+y)}$

$=W_4g$, ধরা যাক।

এই পরিমাণ Cl-ই গৃহীত NaCl-এ উপস্থিত আছে।

$\therefore$ সোডিয়ামের গৃহীত ওজন $=(W_1-W_4)g$.

$\therefore$ সোডিয়ামের তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{(W_1-W_4)\times35\cdot45}{W_4}$

5.4 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ একটি ধাতব ক্লোরাইডের 0·2 g জলে দ্রবীভূত করে $AgNO_3$ দ্বারা অধঃক্ষিপ্ত করে দেখা যায় 0·4905 g AgCl উৎপন্ন হয়েছে। ধাতুটির পাঃ গুঃ যদি 23 হয় তবে উহার ক্লোরাইডের সংকেত নির্ণয় কর। Ag ও Cl-এর পাঃ গুঃ যথাক্রমে 108 ও 35·5।

সমাধান ঃ AgCl এর আঃ গুঃ $=108+35\cdot5=143\cdot5$

143·5 g AgCl-এর মধ্যে Cl-এর পরিমাণ $=35\cdot5$ g

$\therefore$ 0·4905 g ,, ,, ,, ,, ,, $=\dfrac{35\cdot5\times\cdot4905}{143\cdot5}$ g

$=0\cdot1213g$

0·1213 g Cl—এসেছে 0·2g. ধাতব ক্লোরাইড থেকে

$\therefore$ 0·2g ধাতব ক্লোরাইডে Cl-এর পরিমান $=0\cdot1213g$

এবং ধাতুর পরিমাণ $=(0\cdot2000-0\cdot1213)g=0\cdot0787$ g

$\therefore$ ধাতুটির তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{0\cdot0787\times35\cdot45}{0\cdot1213}=22\cdot99=23$ (প্রায়)

আবার, $\dfrac{\text{পাঃ গুঃ}}{\text{তুল্যাঙ্ক}}=$ যোজ্যতা

$\therefore$ গৃহীত ধাতুটির যোজ্যতা $=\dfrac{23}{23}=1$

অতএব, ধাতুটির ক্লোরাইডের সংকেত হবে MCl (M=ধাতুটির প্রতীক)।

(vii) দ্রবণ হতে একটি ধাতুকে অপর একটি ধাতুদ্বারা প্রতিস্থাপন পদ্ধতি ঃ উচ্চতর ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু নিম্নতর ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর দ্রবণ থেকে ধাতুকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে এবং এই প্রতিস্থাপন ক্রিয়া পরস্পরের তুল্যাঙ্ক অনুপাতে ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, $CuSO_4$-এর দ্রবণ থেকে Zn বা Fe কপারকে প্রতিস্থাপিত করে। $CuSO_4$-এর দ্রবণে Zn বা Fe যোগ করলে এরা ধীরে ধীরে দ্রবীভূত হয়ে যায় এবং ধাতব Cu চূর্ণরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। $AgNO_3$ দ্রবণে Zn যোগ করলে ধাতব Ag অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়ায় যে সমীকরণের সাহায্যে তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা যায় তা নিম্নে দেওয়া হল ঃ

$$\frac{\text{অধঃক্ষিপ্ত ধাতুর ওজন}}{\text{দ্রবীভূত ধাতুর ওজন}} = \frac{\text{অধঃক্ষিপ্ত ধাতুর তুল্যাঙ্ক}}{\text{দ্রবীভূত ধাতুর তুল্যাঙ্ক}}$$

অতএব, যে-কোনো তিনটি রাশি জ্ঞাত হলে চতুর্থ রাশির মান নির্ণয় করা যাবে।

5.5 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ M একটি ধাতু। উহার ক্লোরাইডে 52·75% ক্লোরিন আছে। 1g এই ধাতুটি 0·88g অপর একটি ধাতু (N) কর্তৃক প্রতিস্থাপিত হয়। M ও N-এর তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ M ধাতুর ক্লোরাইডের 100g-এ Cl আছে 52·75g

$$\therefore \text{ ধাতুর পরিমাণ} = (100 - 52{\cdot}75)g = 47{\cdot}25g$$

$$\therefore \text{ M ধাতুর তুল্যাঙ্ক} = \frac{35{\cdot}45 \times 47{\cdot}25}{52{\cdot}75} = 31{\cdot}79$$

আবার, $$\frac{\text{অধঃক্ষিপ্ত ধাতু M-এর ওজন}}{\text{দ্রবীভূত ধাতু N-এর ওজন}} = \frac{\text{M-এর তুল্যাঙ্ক}}{\text{N-এর তুল্যাঙ্ক}}$$

$$\therefore \frac{1g}{0{\cdot}88g} = \frac{31{\cdot}79}{\text{N-এর তুল্যাঙ্ক}}$$

$$\therefore \text{ N-এর তুল্যাঙ্ক} = 31{\cdot}79 \times 0{\cdot}88 = 27{\cdot}97$$

(viii) তড়িৎ পদ্ধতি ঃ যখন কোনো ধাতব লবণের দ্রবণের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয় তখন ক্যাথোডে ধাতু সঞ্চিত হয় এবং সঞ্চিত ধাতুর ভর তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সঙ্গে নিম্নলিখিত সমীকরণদ্বারা যুক্ত ঃ

$$W = \frac{E.ct}{F},$$

যখন W=সঞ্চিত ধাতুর ভর, E=ধাতুর তুল্যাঙ্ক c=অ্যাম্পিয়ার এককে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা, t=সেকেণ্ড এবং F=ফ্যারাডে=96500 কুলম্ব।

সঞ্চিত ধাতুর ভর এবং c, t ও F জ্ঞাত হলে সহজেই E এর মান গণনা করা যায়। সিলভার, কপার, ইত্যাদি ধাতুর তুল্যাঙ্ক এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব।

(ix) মূলকের বিনিময় পদ্ধতিঃ একটি ধাতব যৌগকে জ্ঞাত ওজনের অপর যৌগে রূপান্তরিত করে তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। নির্দিষ্ট ওজনের কিছু $BaCl_2$-কে দ্রবণে নিয়ে তাকে H_2SO_4 দ্বারা $BaSO_4$ রূপে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। এবার পরিস্রাবণ করে ও শুষ্ক করে এই $BaSO_4$-এর ওজন লওয়া হয়।

Ba-এর তুল্যাঙ্ক E হলে, $BaCl_2$ এর তুল্যাঙ্ক $=E+35{\cdot}45$ এবং

$BaSO_4$ „ „ $=E+48$ (SO_4 মূলকের তুল্যাঙ্ক$=48$)

$$\therefore \frac{BaCl_2\text{-এর ওজন}}{BaSO_4\text{-এর ওজন}}=\frac{E+35{\cdot}45}{E+48}\text{।}$$

5.6 নং গাণিতিক উদাহরণঃ 1g $CaCl_2$-দ্রবণে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করলে 1·225g $CaSO_4$ উৎপন্ন হয়। Ca-এর তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। (Cl-এর তুল্যাঙ্ক 35·5 এবং "SO_4" মূলকের তুল্যাঙ্ক 48)।

সমাধানঃ ধরা যাক, ক্যালসিয়ামের তুল্যাঙ্ক$=E$

$$\therefore \frac{CaCl_2\text{-এর ওজন}}{CaSO_4\text{-এর ওজন}}=\frac{1{\cdot}00g}{1{\cdot}225g}$$

আবার $CaCl_2$-এর তুল্যাঙ্ক$=E+35.5$

এবং $CaSO_4$- „ „ $=E+SO_4$

$$\therefore \frac{E+35{\cdot}5}{E+48}=\frac{1{\cdot}00}{1{\cdot}225}\text{, বা } E=20.06\text{।}$$

5.2 পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতিঃ (i) পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, পা ঃ গু ঃ$=$তুল্যাঙ্ক$\times$যোজ্যতা। যথোপযুক্ত পদ্ধতি দ্বারা তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করে তাকে আলোচ্য যৌগের যোজ্যতার দ্বারা গুণ করে পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় সম্ভব।

(ii) ক্যানিজারো পদ্ধতি (Cannizzaro's method)ঃ (তৃতীয় অধ্যায়ে আলোচিত হয়েছে)।

(iii) স্টাসের পদ্ধতি (Stas's method)ঃ অক্সিজেনের পা ঃ গু ঃ 16·00 ধরে স্টাস (Stas, 1860-'65) Ag, Cl ও K-এর পা ঃ গু ঃ নির্ণয় করেন। পদ্ধতিটি নিয়ে আলোচনা করা হল।

(a) স্টাস কিছু পরিমাণ বিশুদ্ধ $KClO_3$ যথাসম্ভব নির্ভুলভাবে ওজন করে

তাকে একটি ফ্লাস্কে নিয়ে উত্তাপে বিয়োজিত করেন। এতে উৎপন্ন হয় KCl ও অক্সিজেন :

$$KClO_3 = KCl + 3O$$

স্টাস ফ্লাস্কটিকে শীতল করে KCl-এর ওজন নিলেন। এক মোল $KClO_3$ থেকে উৎপন্ন হয় এক মোল KCl এবং 48 ভাগ ওজনের অক্সিজেন (3 মোল O)।

$$\text{ধরা যাক, } \frac{\text{KCl-এর ওজন}}{\text{O-এর ওজন}} = x \cdots\cdots \text{(i)}$$

(b) কিছু বিশুদ্ধ KCl ওজন করে তার জলীয় দ্রবণ তৈরী করা হয়। ঐ দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করে AgCl-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করা হয়।

$$KCl + AgNO_3 = AgCl + KNO_3$$

অধঃক্ষিপ্ত AgCl-কে পরিস্রাবণের দ্বারা দ্রবণ থেকে পৃথক করে শুষ্ক করা হয় এবং শুষ্ক অধঃক্ষেপের ওজন লওয়া হয়।

$$\text{ধরা যাক, } \frac{\text{AgCl-এর ওজন}}{\text{KCl-এর ওজন}} = y \ldots\ldots \text{(ii)}$$

(c) ওজন-করা একটি বিশুদ্ধ সিলভারের টুকরা নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করে তাতে HCl যোগ করা হয় যাতে দ্রবণে অবস্থিত সব Ag সিলভার ক্লোরাইড রূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। পরে AgCl-এর ওজন লওয়া হয়।

$$\text{ধরা যাক, } \frac{\text{Ag-এর ওজন}}{\text{AgCl-এর ওজন}} = z \ldots\ldots \text{(iii)}$$

আরও ধরা যাক, KCl-এর আঃ গুঃ $= M_1$

AgCl ,, ,, $= M_2$

এবং Ag ,, পাঃ গুঃ $= A$

$$\therefore \quad \frac{M_1}{48} = x, \text{ বা, } M_1 = 48x \text{ ।}$$

$$\frac{M_2}{M_1} = y, \text{ বা, } \frac{M_2}{48x} = y, \text{ বা, } M_2 = 48xy$$

$$\frac{A}{M_2} = z, \text{ বা, } \frac{A}{48xy} = z, \text{ বা, } A = 48xyz$$

স্টাস এই পদ্ধতিতে প্রথমে Ag-এর পাঃ গুঃ নির্ণয় করেন। অতঃপর AgCl ও KCl-এর আঃ গুঃ থেকে Cl ও K-এর পাঃ গুঃ নির্ণয় করেন। স্টাস নির্ণিত মানগুলি হচ্ছে—Ag: 107·94, Cl: 35·45 এবং K: 39·14।

5.3 ডুলং ও পেটিটের সূত্র (Dulong and Petit's law): কঠিন মৌলগুলির আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) সম্বন্ধে পরীক্ষা-

নিরীক্ষাকালে ডুলং ও পেটিট একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রটি হলঃ কঠিন মৌলের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ ও পারমাণবিক গুরুত্বের গুণফল সর্বদাই স্থির এবং স্থির মানটি হচ্ছে 6·3। আপেক্ষিক তাপ ও পারমাণবিক গুরুত্বের গুণফলকে বলা হয় পারমাণবিক তাপ।

∴ আঃ তাপ × পাঃ গুঃ = 6·3

বা, আঃ তাপ × মৌলের এক মোল পরমাণু = 6·3,

বা, আঃ তাপ × $6{\cdot}023 \times 10^{23}$-টি পরমাণুর গ্রাম-এককে ওজন = 6·3,

বা, আঃ তাপ × 1টি পরমাণুর গ্রাম-এককে ওজন $= \dfrac{6{\cdot}3}{6.023 \times 10^{23}}$

আবার, আঃ তাপ × 1টি পরমাণুর গ্রাম-এককে ওজন = একটি পরমাণুর তাপগ্রাহীতা।

∴ পরমাণুর তাপগ্রাহীতা $= \dfrac{6{\cdot}3}{6{\cdot}023 \times 10^{23}}$ = ধ্রুবক

অতএব, সকল মৌলের পরমাণুর তাপগ্রাহীতা সমান। সূক্ষ্ম পরীক্ষায় দেখা যায় সকল মৌলের ক্ষেত্রে এই সূত্র প্রযোজ্য নয়।

এই সূত্র প্রয়োগ করে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

পদ্ধতি (Method) ঃ (1) প্রথমে মৌলের আঃ তাপের দ্বারা 6·3কে ভাগ করে এটির আনুমানিক পাঃ গুঃ নির্ণয় করা হয়।

$$\therefore \text{ আনুমানিক পাঃ গুঃ} = \frac{6{\cdot}3}{\text{আঃ তাপ}}$$

(2) সঠিকভাবে নির্ধারিত মৌলটির তুল্যাঙ্কের দ্বারা এই পাঃ গুঃ-কে ভাগ করে পাওয়া যায় আনুমানিক যোজ্যতা।

$$\therefore \text{ আনুমানিক যোজ্যতা} = \frac{\text{আনুমানিক পাঃ গুঃ}}{\text{তুল্যাঙ্ক}}$$

এইভাবে প্রাপ্ত যোজ্যতা ভগ্নাংশ হতে পারে। তাকে আসন্ন পূর্ণ সংখ্যা ধরে নেওয়া হয়। কারণ যোজ্যতা কখনও ভগ্নাংশ হয় না। এই পূর্ণ সংখ্যা মৌলের সঠিক যোজ্যতা নির্দেশ করে।

(3) এখন সঠিক যোজ্যতার দ্বারা তুল্যাঙ্ককে গুণ করলেই পাওয়া যায় সঠিক পাঃ গুঃ।

5.7 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ একটি ধাতুর তুল্যাঙ্ক 37·8। এটির আঃ তাপ 0·057 হলে ধাতুটির সঠিক পারমাণবিক গুরুত্ব কত ?

সমাধান : ডুলং-পেটিটের সূত্র থেকে জানা যায়, পাঃ গুঃ × আঃ তাপ = 6·3

∴ ধাতুর আনুমানিক পাঃ গুঃ = $\frac{6\cdot3}{0\cdot057} = 110\cdot5$

আবার, ধাতুটির আনুমানিক যোজ্যতা = $\frac{110\cdot5}{37\cdot8} = 2\cdot9$ (প্রায়)

কিন্তু যোজ্যতা ভগ্নাংশ হয় না বলে 2·9-এর আসন্ন পূর্ণ সংখ্যাটিকে সঠিক যোজ্যতা ধরা হবে। ∴ সঠিক পাঃ গুঃ = 37·8 × 3 = 113·4।

5.8 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·5574g. একটি ধাতু 0·6817g. অক্সাইড উৎপন্ন করে। ধাতুটির আঃ তাপ 0·063 হলে তার সঠিক পাঃ গুঃ কত ?

সমাধান : ধাতুটির তুল্যাঙ্ক = $\frac{0\cdot5574}{0\cdot1243} \times 8 = 35\cdot88$। আবার, পাঃ গুঃ × আঃ তাপে = 6·3

∴ ধাতুটির আনুমানিক পাঃ গুঃ = $\frac{6\cdot3}{0\cdot063} = 100$

এবং আনুমানিক যোজ্যতা = $\frac{100}{35\cdot88} = 2\cdot8$। ∴ সঠিক যোজ্যতা = 3

∴ সঠিক পাঃ গুঃ = 3 × 35·88 = 107·64।

5.9 নং গাণিতিক উদাহরণ : Mg-এর আঃ তাপ 0·25। 0·218g. Mg হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণ হতে 17°C উষ্ণতায় ও 754·5 mm চাপে 218·2ml হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করে। ধাতুটির সঠিক পাঃ গুঃ ও ব্রোমাইডের সংকেত নির্ণয় কর। 17°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ = 14·4mm।

সমাধান : ডুলং-পেটিটের সূত্র প্রয়োগ করে পাই Mg-এর আনুমানিক পাঃ গুঃ = $\frac{6\cdot3}{0\cdot25} = 25\cdot20$। এখন নির্ণয় করতে হবে ধাতুটির তুল্যাঙ্ক প্রতিস্থাপিত হাইড্রোজেনের ওজন থেকে তা নিম্নভাবে করা সম্ভব :

শুষ্ক হাইড্রোজেনের চাপ = 754·5 − 14·4 = 740·1mm

∴ S.T.P-তে 218·2ml H-এর আয়তন

$$= \frac{218\cdot2\text{ml} \times 740\cdot1\text{mm} \times 273^\circ\text{K}}{760\text{mm} \times 290^\circ\text{K}} = 200\text{ml}$$

S.T.P-তে 200ml H-এর ওজন$=0{\cdot}00009\times200g=0{\cdot}018g$

$\therefore$ Mg-এর তুল্যাঙ্ক $=\dfrac{0{\cdot}218g}{0{\cdot}018g}=12{\cdot}11$

আবার, পাঃ গুঃ=তুল্যাঙ্ক × যোজ্যতা।

যদি Mg-এর যোজ্যতা 1 হয় তবে পাঃ গুঃ$=12{\cdot}11\times1=12{\cdot}11$

" Mg- " " 2 হয় " " $12{\cdot}11\times2=24.22$

" Mg- " " 3 " " " $=12{\cdot}11\times3=36{\cdot}33$

Mg-এর যোজ্যতা 2 হলে পাঃ গুঃ ডুলং-পেটিটের সূত্র থেকে প্রাপ্ত মানের কাছাকাছি হয়। $\therefore$ যোজ্যতা=2। $\therefore$ সঠিক পাঃ গুঃ=24·22

$\therefore$ ব্রোমাইডের সংকেত=$MgBr_2$।

5.4 মিত্সারলিসের সমাকৃতিত্বের সূত্র (Mitscherlich's law of isomorphism)ঃ কঠিন পদার্থ—মৌলই হোক আর যৌগই হোক—দৃঢ় (Rigid) এবং নির্দিষ্ট আয়তন ও আকৃতিবিশিষ্ট হয়। এর কারণ কঠিন মৌলের ক্ষেত্রে গঠনকারী পরমাণু এবং যৌগের ক্ষেত্রে অণু বা আয়নগুলি নির্দিষ্ট সংখ্যায় নিয়মিতভাবে সজ্জিত থেকে একটি জ্যামিতিক আকৃতিবিশিষ্ট একক তৈরী করে অবস্থান করে। কোনো কঠিনের ক্ষেত্রে এই আকৃতি ঘনক, কখনও বা প্রিজম, কখনও বা পিরামিড, ইত্যাদি। এগুলিকে বলে **স্ফটিক** (Crystal)। স্ফটিকগুলি পরস্পর সংঘবদ্ধ হয়ে খানিকটা কঠিন পদার্থ তৈরী করে।

কখনও কখনও দেখা যায় একই কঠিন পদার্থ বিভিন্ন স্ফটিকাকারে বিরাজ করে। যখন কোনো কঠিন যৌগ দুই ধরনের স্ফটিক আকারে বিরাজ করে তখ-তাকে বলে **ডাইমরফাস** (Dimorphous)। যখন কোনো কঠিন যৌগ দুইয়ের অধিক স্ফটিকাকারে বর্তমান থাকে তখন তাকে বলে **পলিমরফাস** (Polymorphous)। আবার এ-ও দেখা যায় যে, ভিন্ন ভিন্ন কঠিন যৌগ একই স্ফটিক গঠন করে। বিজ্ঞানী মিত্সারলিস (Mitscherlich, 1819) লক্ষ্য করেন যে, ভিন্ন ভিন্ন যৌগ সদৃশ স্ফটিক তৈরী করে তখনই যখন তাদের রাসায়নিক সংযুতি সদৃশ। এরূপ যৌগগুলিকে মিত্সারলিস **সমাকৃতি যৌগ** (Isomorphous compound) এবং যে ধর্মের বলে সদৃশ রাসায়নিক সংযুতিসম্পন্ন বিভিন্ন যৌগ একই ধরনের স্ফটিক তৈরী করে তাকে **সমাকৃতিত্ব** (Isomorphism) আখ্যা দেন।

সমাকৃতিত্বের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of Isomorphism) :

(i) সমাকৃতি যৌগগুলি একই আকৃতির স্ফটিক উৎপন্ন করে।

উদাহরণ : M_2SO_4 ও M_2SeO_4 (M=K, Rb, Cs) সমাকৃতি যৌগ।

MCO_3 (M=Ca, Sr, Ba, Pb) সমাকৃতি যৌগ।

(ii) **মিশ্র স্ফটিক গঠন (Formation of mix-crystals) :** দুইটি সমাকৃতি যৌগের দ্রবণের মিশ্রণ থেকে যে স্ফটিক পাওয়া যায় তাতে দুইটি পদার্থই সমসত্ত্বভাবে বর্তমান থাকে। এরূপ স্ফটিককে বলা হয় মিশ্র-স্ফটিক। মিশ্র-স্ফটিকে পদার্থগুলির পরিমাণ দ্রবণের উপাদান দুইটির পরিমাণের উপর নির্ভরশীল।

উদাহরণ : $(NH_4)_2SO_4$ ও $Al_2(SO_4)_3$-এর মিশ্র দ্রবণ থেকে যে স্ফটিক পাওয়া যায় (ফটকিরি) তাতে উপাদান দুইটি সমসত্ত্বভাবে থাকে।

(iii) **অধিবৃদ্ধি (Over-growth) :** সমাকৃতি পদার্থের একটির সম্পৃক্ত দ্রবণে অপর পদার্থের একটি ক্ষুদ্র স্ফটিক ঝুলিয়ে রাখলে দেখা যায় স্ফটিকটির উপরিতলে দ্রবণে বর্তমান দ্রাবটি ধীরে ধীরে স্ফটিকাকারে সঞ্চিত হচ্ছে।

উদাহরণ : $ZnSO_4$-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে একটি সবুজ $NiSO_4$-এর স্ফটিক ঝুলিয়ে রাখলে দেখা যাবে সবুজ স্ফটিকটি বর্ণহীন $ZnSO_4$-এর ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র স্ফটিক দ্বারা আবৃত হয়ে গেছে।

সমাকৃতিত্বের সূত্র (Law of isomorphism) : সমাকৃতি যৌগগুলিতে সমসংখ্যক পরমাণু সমভাবে সজ্জিত থাকে, অথবা বলা যায়, সমাকৃতি যৌগগুলিতে সমধর্মী মৌলগুলি পরস্পরকে পরমাণুক্রমে প্রতিস্থাপিত করে এবং এই প্রতিস্থাপনের ফলে স্ফটিকের আকৃতির কোনো উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটে না।

সমাকৃতি সূত্রের প্রয়োগের দ্বারা পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা সম্ভব।

5.10 নং গাণিতিক উদাহরণ : Cu_2S এবং Ag_2S দুইটি সমাকৃতি যৌগ। Cu_2S-এ 20·14%S এবং Ag_2S-এ 12·94%S আছে। Cu এর পাঃ গুঃ 63·57 হলে Ag এর পাঃ গুঃ কত ?

সমাধান : 100 g Cu_2S-এ S আছে 20·14g, ∴ Cu আছে (100—20·14) বা 79·86 g.

100 g Ag_2S-এ S আছে 12·94g, ∴ Ag আছে (100—12·94) বা 87·06g।

এখন, একই ওজনের গন্ধকের সঙ্গে যুক্ত Cu ও Ag-এর বিভিন্ন ওজন নির্ণয় করতে হবে।

20·14 gS-এর সঙ্গে যুক্ত হয় 79·86g Cu এবং

12·94gS-এর সঙ্গে যুক্ত হয় 87·06gAg

$$\therefore \quad 20{\cdot}14\text{g S} \text{ „ সঙ্গে „ „ } \frac{87{\cdot}06}{12{\cdot}94} \times 20{\cdot}14\text{g Ag} = 135{\cdot}5\text{g Ag}$$

$$\therefore \quad \frac{\text{Ag-এর পাঃ গুঃ}}{\text{Cu-এর পাঃ গুঃ}} = \frac{135{\cdot}5\text{g}}{79{\cdot}86\text{g}}$$

$$\text{বা,} \frac{\text{Ag-এর পাঃ গুঃ}}{63{\cdot}57} = \frac{135{\cdot}5}{79{\cdot}86} \text{ বা, Ag-এর পাঃ গুঃ} = 107{\cdot}9$$

তুল্যাঙ্ক ও মোল-একক ঃ কোনো মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশ 1·008g হাইড্রোজেনের সঙ্গে বা 7·999g (প্রায় 8·0g) অক্সিজেনের সঙ্গে বা 35·453g ক্লোরিনের যুক্ত হতে পারে অথবা কোনো মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশের দ্বারা 1·008g হাইড্রোজেন বা 7·999g অক্সিজেন বা 35·453g. ক্লোরিন এগুলির যৌগ থেকে বিযুক্ত হয় তাকেই মৌলের তুল্যাঙ্ক বলে। এক মোল পরমাণুর ভর গ্রাম-এককে প্রকাশ করা হয় বলে মোল এককে মৌলের তুল্যাঙ্ক হল গ্রাম-তুল্যাঙ্ক।

আবার, 1·008g হাইড্রোজেন=1 মোল H

15·9994g অক্সিজেন=0·5 মোল O

এবং 35·453g ক্লোরিন=1 মোল Cl

কাজেই বলা যায় যে, (i) কোনো মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশ হাইড্রোজেনের এক মোল পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে বা এক মোল হাইড্রোজেনকে তার কোনো যৌগ থেকে বিযুক্ত করতে পারে তাকেই মৌলটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে ; (ii) কোন মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশ অক্সিজেনের 0·5 মোল পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে বা 0·5 মোল অক্সিজেন পরমাণুকে তার কোনো যৌগ থেকে বিযুক্ত করতে পারে তাকেই মৌলটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে; (iii) কোন মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশ ক্লোরিনের এক মোল পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে বা এক মোল পরমাণু ক্লোরিনকে তার কোনো যৌগ থেকে বিযুক্ত করতে পারে তাকেই মৌলটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে। যেমন,

1 মোল C যুক্ত হয় 4 মোল H-এর সঙ্গে, 2 মোল O-এর সঙ্গে এবং 4 মোল Cl-এর সঙ্গে।

$\therefore$ 1 মোল H যুক্ত হয় $\frac{1}{4}$ মোল C-এর সঙ্গে।

একইভাবে 0·5 মোল O যুক্ত হয় $\frac{1}{2}\times0{\cdot}5$ মোল বা $\frac{1}{4}$ মোল C-এর সঙ্গে।

অনুরূপভাবে, 1 মোল Cl যুক্ত হয় $\frac{1}{4}$ মোল C-এর সঙ্গে।

$\therefore$ কার্বনের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক $=\frac{1}{4}$ মোল C। $=\frac{12{\cdot}011}{4}$ g বা 3·003g

আবার, 1 মোল H 1 মোল ইলেক্ট্রন ত্যাগ করে। 1 মোল O 2 মোল ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে।

বা, 0·5 মোল O 1 মোল ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে। 1 মোল ক্লোরিন 1 মোল ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে।

সুতরাং, ব্যাপক অর্থে কোনো মৌলের গ্রাম-তুল্যাঙ্কের আধুনিক সংজ্ঞার্থ হল : কোনো মৌলের এক মোল পরমাণুর যত অংশ 1 মোল ইলেক্ট্রন ত্যাগ বা গ্রহণ করতে পারে তাকেই মৌলটির **গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে।

সুতরাং, কোন মৌলের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক (E)

$$=\frac{\text{মৌলের 1 মোল পরমাণুর ভর (A)}}{\text{এক মোল পরমাণুর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ইলেক্ট্রনের মোল-সংখ্যা (n)}}$$

$$\text{বা } E=\frac{A}{n}$$

সাধারণতঃ একটি মৌলের যোজ্যতা যত তত মোল ইলেক্ট্রন মৌলটির এক মোল পরমাণু গ্রহণ বা ত্যাগ করে।

এক মোল O 2 মোল ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে। সুতরাং অক্সিজেনের

$$\text{গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, } E=\frac{\text{1 মোল O-এর ভর}}{2}$$

$$=\frac{\text{1 গ্রাম-পারমাণবিক গুরুত্বের অক্সিজেন}}{2}$$

$$=\frac{15{\cdot}999}{2}\text{g বা } 7{\cdot}999\text{g}$$

5.11 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·436g ম্যাগনেসিয়াম ধাতুকে যখন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করা হয় তখন 400 cc (S.T.P-তে) হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। Mg-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** 400 cc হাইড্রোজেনের মোল-এককে পরিমাণ কত তা নির্ণয় করা। এই পরিমাণ হাইড্রোজেন মুক্ত হয় 0·436g ম্যাগনেসিয়ামের দ্বারা। অতএব, 1 মোল হাইড্রোজেন কত গ্রাম ম্যাগনেসিয়ামের দ্বারা মুক্ত হয় তা নির্ণয় করা। ম্যাগনেসিয়ামের এই পরিমাণটিই তার গ্রাম-তুল্যাঙ্ক।

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** 400 cc হাইড্রোজেন

$$=\frac{400\times0\cdot00009}{1\cdot008} \text{ মোল H}$$

$\frac{400\times0\cdot00009}{1\cdot008}$ মোল H পাওয়া যায় 0·436g ম্যাগনেসিয়ামের দ্বারা

∴ 1 ,, H ,, ,, $\frac{0\cdot436\times1\cdot008}{400\times0\cdot00009}$ g বা

12·208g ম্যাগনেসিয়ামের দ্বারা

∴ ম্যাগনেসিয়ামের নির্ণেয় গ্রাম-তুল্যাঙ্ক $=12\cdot208$g

5.12 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ কোনো একটি মৌলের ক্লোরাইডের বাষ্পীয় ঘনত্ব 66। মৌলটির অক্সাইডে 47% অক্সিজেন আছে। মৌলটির যোজ্যতা ও পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(a) **সমাধানের পথ ঃ** (i) মৌলের অক্সাইডের শতকরা সংযুতি থেকে মৌলের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা, (ii) $E=\frac{A}{V}$ থেকে মৌলের সম্ভাব্য পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় এবং ক্লোরাইডের কল্পিত সংকেত-একক নির্ণয়, (iii) ক্লোরাইডের বাষ্পীয় ঘনত্ব থেকে তার আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করে তার সঙ্গে ক্লোরাইডের কল্পিত সংকেত-গুরুত্বকে সমীকরণ আকারে প্রকাশ করা। এই সমীকরণ থেকে কল্পিত যোজ্যতা নির্ণয় করা।

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** 100g অক্সাইডে 47g অক্সিজেন এবং 53g মৌলটি আছে।

$$47 \text{ g অক্সিজেন}=\frac{47}{16} \text{ মোল O}$$

∴ $\frac{47}{16}$মোল O যুক্ত হয় 53g মৌলের সঙ্গে

বা, 1 মোল O ,, ,, $\frac{53\times16}{47}$ g মৌলের সঙ্গে

∴ 0·5 ,, O ,, $\frac{53\times10\times0\cdot5}{47}$ g$=9\cdot02$g মৌলের সঙ্গে

∴ মৌলটির তুল্যাঙ্ক$=9\cdot02$ হয়। ধরা যাক, মৌলটির যোজ্যতা$=m$ এবং মৌলটির চিহ্ন$=$X। কাজেই মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব হল $9\cdot2\times m$ এবং ক্লোরাইডের সংকেত$=XCl_m$ আবার XCl_m-এর বাষ্পীয় ঘনত্ব$=66$

∴ XCl_m-এর আণবিক গুরুত্ব$=66\times2\cdot016$ বা 133·03

এখন XCl_m-এর সংকেত-গুরুত্ব $=9{\cdot}02m+m\times35{\cdot}453$

সুতরাং, $m\,(9{\cdot}02+35{\cdot}453)=133{\cdot}03$ বা, $m=3$ (প্রায়)

$\therefore$ মৌলের যোজ্যতা $=3$ এবং মৌলের

পারমাণবিক গুরুত্ব $=3\times9{\cdot}02=27{\cdot}06$ ।

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ :

1. মৌলের তুল্যাঙ্ক কাকে বলে ? পারমাণবিক গুরুত্বের সঙ্গে এর কি সম্পর্ক ? একই মৌলের তুল্যাঙ্ক কি বিভিন্ন হতে পারে ? উদাহরণ দাও। কার্বনের তুল্যাঙ্ক কিভাবে নির্ধারণ করবে ?

2. ম্যাগনেসিয়ামের তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের দুইটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

3. হাইড্রোজেনের সাপেক্ষে তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের চেয়ে অক্সিজেনের সাপেক্ষে তা করার সুবিধা কি ? অক্সিজেনের তুল্যাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করবে ?

4. পারমাণবিক গুরুত্ব কাকে বলে ? কখন পারমাণবিক গুরুত্ব ও তুল্যাঙ্ক সমান হয় ? উদাহরণ দাও। সিলভারের পারমাণবিক গুরুত্ব 107·94 ধরে নাইট্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (সংকেত : পূর্বে ওজন-করা এক টুকরা সিলভারকে গাঢ় HNO_3-তে দ্রবীভূত করে দ্রবণটিকে উত্তাপ দিয়ে শুষ্ক করলে পাওয়া যাবে $AgNO_3$-এর অবশেষ। এই অবশেষকে ওজন করে Ag : $AgNO_3$-এই অনুপাত নির্ণয় করা সম্ভব। এখন অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব ও সিলভারের পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 16 ও 107·94 ধরে N-এর পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা সম্ভব।)

5. ডুলং ও পেটিটের সূত্রটি কি ? এই সূত্র প্ররোগ করে কিভাবে পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ধারণ করা সম্ভব ? উদাহরণ দাও।

6. টীকা লেখ : সমাকৃতিত্ব, স্ফটিক, অধিবৃদ্ধি।

7. নিম্নলিখিত যৌগগুলির তুল্যাঙ্ক কত ?

$Al_2(SO_4)_3$, H_2SO_4, $Pb(CH_3)_2$

8. প্রমাণ কর—সকল মৌলের পরমাণুর তাপগ্রহীতা সমান।

9. ক্রোমাস সালফেট ও ফেরাস সালফেট সমাকৃতিবিশিষ্ট। ক্রোমাস সালফেটের সংযুতি যদি $CrSO_4, 7H_2O$ হয় তাব ফেরাস সালফেটের সংযুতি কি হবে ? উভয় যৌগের স্ফটিকের আকৃতি মনোক্লিনিক। উভয় যৌগের দ্রবণ থেকে যে মিশ্র স্ফটিক উৎপন্ন হবে তার আকৃতি কি হবে ?

10. ক্লোরিনের পারমাণবিক গুরুত্ব 35·45 বলতে কি বোঝ ?

(B) গানিতিক ঃ

1. $ZnSO_4$, $7H_2O$ এবং $MgSO_4$, $7H_2O$ দুইটি সমাকৃতিবিশিষ্ট যৌগ। দ্বিতীয় যৌগে 9·76% Mg এবং 13·01% S আছে। প্রথম যৌগে Zn ও S-এর শতকরা পরিমাণ যথাক্রমে 22·7 এবং 11·48। Zn-এর পারমাণবিক গুরুত্ব কত ? (Mg-এর পারমাণবিক গুরুত্ব 24·186)। (উত্তর 65·5)।

2. পটাসিয়াম সেলিনেটে সেলিনিয়াম আছে 35·75%। পটাসিয়াম সেলিনেটের সঙ্গে সমাকৃতিবিশিষ্ট K_2SO_4-এ সালফার আছে 18·39%। সেলিনিয়ামের পারমাণবিক গুরুত্ব কত ? (উত্তর 32)

3. কোনো ধাতব ক্লোরাইডের 2·67g গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা উত্তপ্ত করায় 3·42g সালফেট উৎপন্ন হয়। ধাতুটির আপেক্ষিক তাপ 0·62 হলে তার সালফেটের সংযুতি কি ? (উত্তর M_2SO_4)

4. 0°C উষ্ণতায় এবং 760 mm চাপে 226·8ml অক্সিজেনের সঙ্গে 1·324g. জিংক বিক্রিয়া করে জিংক অক্সাইড উৎপন্ন করে। 0°C উষ্ণতায় এবং 760mm চাপে 22·4 লিটার অক্সিজেনের ওজন 32g. হলে জিংকের তুল্যাঙ্ক কত ? (উত্তর 32·69)

5. কোনো একটি ধাতুর সালফেট $MgSO_4$, $7H_2O$-এর সঙ্গে সমাকৃতি-বিশিষ্ট। উক্ত ধাতুর সালফেটে ধাতুর পরিমাণ 22·7% হলে ধাতুটির পারমাণবিক গুরুত্ব কত ? (উত্তর 65·19)

6. একটি ধাতুর আপেক্ষিক তাপ 0·0814। ধাতুটির হাইড্রাইডে 96·15% ধাতু আছে। ধাতুর পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (উত্তর 74·01)

ষষ্ঠ অধ্যায়

অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণ

(Acids, Bases and Salts)

6.1 সূচনা (Introduction) ঃ বেশীর ভাগ যৌগই, অ্যাসিড, ক্ষারক বা লবণের মধ্যে যে-কোনো এক রকমের হয়। এই সব যৌগের অনেক-গুলিতেই অক্সিজেন থাকে এবং মৌলিক অক্সাইডগুলিকে ঐসব পদার্থে পরিণত করা যায়। তাই এই অধ্যায়ে অক্সাইড, অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণ সম্পর্কে কিছু আলোচনা করা হবে।

আবার বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়াই হয় প্রশমন ক্রিয়া আর না হয় জারণ-বিজারণ ক্রিয়ার অন্তর্গত। তাই এই অধ্যায়ে প্রশমন ক্রিয়া ও পরের অধ্যায়ে জারণ-বিজারণ ক্রিয়া আলোচিত হবে।

6.2 অক্সাইড (Oxides) ঃ অক্সিজেনের দ্বিমৌলিক যৌগকে অক্সাইড বলে। কার্বন ডাইঅক্সাইড (CO_2), আরসেনিয়াস অক্সাইড (As_2O_3) নাইট্রিক অক্সাইড (NO), ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইড (MgO) ইত্যাদি অক্সাইডের কয়েকটি উদাহরণ। কিছু কিছু অক্সাইড প্রকৃতিতে মুক্ত এবং যুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। যেমন, CO_2, H_2O, SiO_2 (সিলিকন ডাই-অক্সাইড) $Al_2O_3, 2H_2O$; Fe_2O_3 ইত্যাদি।

অক্সাইডের ধর্ম ও শ্রেণী বিভাগ ঃ অধাতব অক্সাইডগুলির বেশীর ভাগই জলে দ্রবীভূত হয়। এই দ্রবণে নীল লিটমাস যুক্ত করলে তা লালবর্ণে পরিণত হয়। এরূপ অক্সাইড ধাতব অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং লবণ নামে এক প্রকার যৌগ তৈরী করে। নীল লিটমাসকে লালবর্ণে পরিণত করা অ্যাসিডের ধর্ম। ধাতব অক্সাইডের সঙ্গে সংযুক্ত হওয়াও অ্যাসিডের ধর্ম। সুতরাং, এইসব অক্সাইডের অ্যাসিড-ধর্ম আছে। এই কারণেই P_2O_5 SO_3, CO_2 ইত্যাদিকে আম্লিক অক্সাইড বলে। এই অক্সাইডগুলির জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড হওয়ায় এইগুলিকে নিরুদিত অ্যাসিড (Acid anhydrous) বলা যায়। সুতরাং, যে-সমস্ত অক্সাইডের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন তাকেই (Acidic) **আম্লিক অক্সাইড** বলে। সাধারণভাবে অধাতব অক্সাইডগুলি আম্লিক অক্সাইড, তবে ম্যাঙ্গানিজ ও ক্রোমিয়াম ধাতুর কিছু

অক্সাইড আম্লিক অক্সাইডের ধর্মবিশিষ্ট। সুতরাং, সেগুলিও আম্লিক অক্সাইড।

$$P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4$$ (অ্যাসিড, অর্থফসফোরিক)

$$SO_3+H_2O=H_2SO_4$$ (অ্যাসিড, সালফিউরিক)

$$SO_2+Na_2O=Na_2SO_3$$ (লবণ, সোডিয়াম সালফাইট)

$$CrO_3+K_2O=K_2CrO_4$$ (লবণ, পটাসিয়াম ক্রোমেট)

ধাতব অক্সাইডগুলি সাধারণতঃ আম্লিক অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং লবণ তৈরী করে। জলে দ্রবণীয় ধাতব অক্সাইডগুলির জলীয় দ্রবণ লাল লিটমাসকে নীলবর্ণে পরিণত করে। লাল লিটমাসকে নীলবর্ণে পরিণত করা এবং আম্লিক অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হওয়া ক্ষারকের ধর্ম। তাই এই অক্সাইডগুলিকে ক্ষারকীয় অক্সাইড বলে। সুতরাং, যে-সমস্ত ধাতব অক্সাইড আম্লিক অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং লবণ তৈরী করে সেগুলিকে **ক্ষারকীয়** (Basic) **অক্সাইড** বলে। জলে দ্রবীভূত ক্ষারকীয় অক্সাইড ক্ষার উৎপন্ন করে।

$$MgO+CO_2=MgCO_3$$ (লবণ, ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেট)

$$Na_2O+H_2O=2NaOH$$ (লাল লিটমাসকে নীল করে)

আবার কিছু কিছু ধাতব অক্সাইড আম্লিক অক্সাইডের এবং ক্ষারকীয় অক্সাইডের ধর্ম প্রকাশ করে। যেমন, জিঙ্ক অক্সাইড সোডিয়াম হাইড্র-ক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং সোডিয়াম জিঙ্কেট নামে লবণ তৈরী করে। এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে জিঙ্ক অক্সাইড একটি আম্লিক অক্সাইড। আবার, সালফার ট্রাইঅক্সাইডের জলীয় দ্রবণের সঙ্গে জিঙ্ক অক্সাইডের বিক্রিয়ায় জিঙ্ক সালফেট তৈরী হয়, সুতরাং জিঙ্ক অক্সাইড একটি ক্ষারকীয় অক্সাইড। কাজেই, যে অক্সাইড আম্লিক অক্সাইডের ধর্ম এবং ক্ষারকীয় অক্সাইডের ধর্ম, উভয়বিধ ধর্মই, প্রকাশ করে তাকে **উভধর্মী** (Amphoteric) **অক্সাইড** বলে। Al_2O_3 এই শ্রেণীর অক্সাইড।

$$ZnO+2NaOH=Na_2ZnO_2+H_2$$

$$ZnO+SO_3+H_2O=ZnSO_4+H_2O$$

যে-সমস্ত অধাতব অক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয়ে অ্যাসিড বা ক্ষার উৎপন্ন করে না এবং ক্ষারকীয় বা আম্লিক অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ উৎপন্ন করে না তাদের **প্রশম** (Neutral) **অক্সাইড** বলে। নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O), কার্বন মনোক্সাইড (CO) ইত্যাদি এই ধরনের অক্সাইডের উদাহরণ।

সুতরাং, অক্সাইডগুলিকে প্রধানতঃ চারটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়ঃ (1) আম্লিক অক্সাইড, (2) ক্ষারকীয় অক্সাইড, (3) উভধর্মী অক্সাইড (4) এবং প্রশম অক্সাইড।

অক্সাইডের প্রস্তুতিঃ (1) বায়ুতে বা অক্সিজেনে মৌলিক পদার্থের দহনের ফলে অনেক অক্সাইড তৈরী হয়।

$$C+O_2=CO_2\ ;\ 2Zn+O_2=2ZnO$$

(2) ধাতুর উপর উত্তপ্ত স্টীম প্রবাহিত করেও কিছু কিছু অক্সাইড তৈরী করা যায়। $Mg+H_2O$ (স্টীম) $=Mg(OH)_2$

(3) আবার লোহিত তপ্ত ধাতুর উপর স্টীমের ক্রিয়ায় অক্সাইড উৎপন্ন হতে পারে। $3Fe$ (লোহিত তপ্ত) $+4H_2O$ (স্টীম) $=Fe_3O_4+4H_2$

(4) ধাতব কার্বনেট, নাইট্রেট বা হাইড্রক্সাইডকে উত্তপ্ত করে অক্সাইড তৈরী করা যায়। $2Cu(NO_3)_2=2CuO+4NO_2+O_2$

$$CaCO_3=CaO+CO_2\ ;\ 2Al(OH)_3=Al_2O_3+3H_2O$$

(5) উচ্চতর অক্সাইডকে বিজারিত করে নিম্নতর অক্সাইড তৈরী করা যায়।

$$CO_2+C=2CO$$

(6) আবার, কোনো কোনো ক্ষেত্রে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের সাহায্যে অধাতুর মিশ্রণকে অধাতব অক্সাইডে পরিণত করা যায়।

$$2H_2+O_2=2H_2O\ ;\ N_2+O_2=2NO$$

(7) নিম্নতর অক্সাইডে অক্সিজেন যুক্ত করে উচ্চতর অক্সাইড তৈরী করা যায়। $2NO+O_2=2NO_2\ ;\ 2SO_2+O_2=2SO_3$

(8) ধাতু ও নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অক্সাইড তৈরী হতে পারে। টিন ও নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় টিন ডাইঅক্সাইড (SnO_2) তৈরী হয়।

$$Sn+4HNO_3=SnO_2+4NO_2+2H_2O$$

(9) একটি ধাতব অক্সাইডকে অন্য ধাতুর দ্বারা বিজারিত করতে গিয়ে নতুন ধাতব অক্সাইড তৈরী হয়। $Al_2O_3+2Fe=Fe_2O_3+2Al$

6.3 অ্যাসিড (Acids)ঃ অম্ল স্বাদের যৌগকে সাধারণভাবে অ্যাসিড বলা যায়। যেমন, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, সাইট্রিক অ্যাসিড, অ্যাসকর্বিক অ্যাসিড (ভিটামিন সি) ইত্যাদি।

অ্যাসিডের ধর্ম ও সংজ্ঞার্থঃ অ্যাসিডগুলির কতকগুলি সাধারণ ধর্ম আছে। তবে সব ধর্মগুলিই প্রত্যেকটি অ্যাসিডে দেখা যায় না। এই ধর্মগুলি হল:

(1) অ্যাসিডের স্বাদ অম্ল। তবে কিছু বিষাক্ত অ্যাসিড আছে বলে যে-কোনো অ্যাসিডের স্বাদ কি তা পরীক্ষা করা ঠিক নয়।

(2) বেশীর ভাগ অ্যাসিড, অল্প হলেও, জলে দ্রবীভূত হয়। অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাসকে (দ্রবণ বা কাগজকে) লালবর্ণে পরিণত করে।

(3) অনেক অ্যাসিডই ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ উৎপন্ন করে এবং হাইড্রোজেন গ্যাস নির্গত হয়।

(4) সোডিয়াম বাইকার্বনেটের সম্পৃক্ত দ্রবণের সঙ্গে অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইড নির্গত হয়।

(5) ক্ষারক ও ক্ষারকীয় হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় লবণ ও জল উৎপন্ন হয়।

অ্যাসিডগুলির অম্ল স্বাদ এবং জলে, অল্প হলেও, দ্রবণীয়তা অ্যাসিডের ভৌতধর্ম এবং বাকীগুলি অ্যাসিডের রাসায়নিক ধর্ম। কিন্তু এই ধর্মগুলি প্রায় সব অ্যাসিডই প্রকাশ করে কেন ?

এর কারণ হল প্রায় সব অ্যাসিডের অন্যতম-উপাদন হল প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু। যখন অ্যাসিডের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়া ঘটে তখন অ্যাসিডের অণু থেকে এই প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু ধাতুর পরমাণুর দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয় এবং হাইড্রোজেন মুক্ত হয়। সুতরাং, অ্যাসিডের পুরানো সংজ্ঞার্থ হল ঃ যে-পদার্থে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু আছে এবং যেটির জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাসকে লালবর্ণে পরিণত করে তাকেই **অ্যাসিড বলে।**

আবার, অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে অ্যাসিড-অণু আয়নে স্বতঃবিয়োজিত হয় এবং কিছু কিছু অ্যাসিডের ক্ষেত্রে এই আয়নগুলি অবিয়োজিত অ্যাসিড অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় (Equilibrium-এ) থাকে। সাধারণ প্রত্যেকটি অ্যাসিডের হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটনে (H^+-এ) বিয়োজন (Dissociation) ঘটে। আরহেনিয়াস (Arhenius)-এর মতে কোনো পদার্থ তার জলীয় দ্রবণে প্রোটনে বিয়োজিত হলে তাই অ্যাসিড। বিজ্ঞানী ব্রন্‌স্টেড (Bronsted) এবং লাওরী (Lowrey)-এর মতে **যে-পদার্থ হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটন দানের ক্ষমতা রাখে তাই অ্যাসিড।**

কিন্তু প্রোটনে (H^+ আয়নে) পজিটিভ বিদ্যুৎ-আধান আছে। তাই প্রোটন নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধানকে গ্রহণ করতে পারে। আবার, ইলেকট্রন নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধানযুক্ত। সুতরাং, প্রোটন ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে।

কিন্তু অ্যাসিড প্রোটন দান করতে পারে। অতএব, অ্যাসিড ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে, তাই বিজ্ঞানী লিউইসের (Lewis-এর) মতে **যে-পদার্থ ইলেকট্রন গ্রহণ করার ক্ষমতা রাখে তাই অ্যাসিড।** সুতরাং, অ্যাসিডের চারটি সংজ্ঞার্থ এখানে দেওয়া হল। এগুলির মধ্যে সাধারণ অ্যাসিডের ক্ষেত্রে ব্রন্‌স্টেড এবং লাওরী প্রদত্ত সংজ্ঞার্থই বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এই সংজ্ঞার্থগুলির প্রত্যেকটির জন্য নীচে উদাহরণ দেওয়া হল ঃ

(1) $$2HCl+Zn=ZnCl_2+H_2$$

পুরানো সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী HCl-এর হাইড্রোজেন পরমাণু জিঙ্ক ধাতুর দ্বারা প্রতিস্থাপনযোগ্য। অতএব, HCl একটি অ্যাসিড।

(2) $$HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-, \quad HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$$

হাইড্রসায়ানিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে HCN প্রোটনে বিয়োজিত হয়। আরহেনিয়াসের তত্ত্ব অনুযায়ী HCN একটি অ্যাসিড। এই অর্থে HCl-ও একটি অ্যাসিড।

(3) $$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$$

ব্রন্‌স্টেড ও লাওরীর তত্ত্ব অনুযায়ী অ্যামোনিয়াম আয়ন প্রোটন দান করার ক্ষমতা রাখে। অতএব, NH_4^+ একটি অ্যাসিড হিসাবে গণ্য হতে পারে। এইভাবে HCN ও HCl-কেও অ্যাসিড বলা যায়।

(4) $$NH_4^+ + Cl^- \rightleftharpoons NH_4Cl$$

অ্যামোনিয়াম আয়ন আবার ক্লোরাইড আয়নের ইলেকট্রনকে গ্রহণ করে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড তৈরী করে। সুতরাং, লিউইসের সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী NH_4^+ আয়ন একটি অ্যাসিড।

অ্যাসিডের শ্রেণী বিভাগ ঃ বিভিন্নভাবে অ্যাসিডগুলিকে বিভিন্ন শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়। এগুলি নীচে আলোচিত হল ;

(1) কোনো কোনো অ্যাসিডের অণুতে অক্সিজেন পরমাণু থাকে আবার কতগুলি অ্যাসিডে তা থাকে না। সুতরাং, অ্যাসিড অণুতে অক্সিজেন পরমাণুর উপস্থিতির ভিত্তিতে এগুলিকে দুইটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। (i) হাইড্রো-অ্যাসিড ও (ii) অক্সি-অ্যাসিড।

(i) **হাইড্রো-অ্যাসিড ঃ** যে-সমস্ত অ্যাসিড হাইড্রোজেন ও অন্য একটি অধাতু (অক্সিজেন বাদে) বা অক্সিজেনহীন অধাতব মূলক দ্বারা গঠিত তাদের **হাইড্রো-অ্যাসিড বলে।** এই ধরনের অ্যাসিডের নামকরণ করা হয়, 'হাইড্রো' কথাটির পর অধাতব মৌল বা মূলকটির সংক্ষিপ্ত নামের সঙ্গে

'ইক' কথাটি যুক্ত করে। যেমন, HCl—হাইড্রোক্লোরিক এবং HCN -হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিড।

$$HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^- ; \quad HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$$

(ii) **অক্সি-অ্যাসিড ঃ** যে-সমস্ত অ্যাসিডে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন উভয়েই থাকে এবং অক্সিজেন একটি অধাতব মূলক হিসাবে থাকে তাদের **অক্সি-অ্যাসিড বলে**। যেমন, HNO_3—নাইট্রিক অ্যাসিড এবং H_2SO_4 —সালফিউরিক অ্যাসিড।

$$HNO_3 = H^+ + NO_3' ; \quad H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4''$$

অক্সি-অ্যাসিড আবার চার প্রকারের হয়। (ক) ইক্-অ্যাসিড—নাইট্রিক অ্যাসিড, ফসফোরিক অ্যাসিড (H_3PO_4) ; (খ) আস-অ্যাসিড—নাইট্রাস অ্যাসিড (HNO_2), সালফিউরাস অ্যাসিড (H_2SO_3) ; (গ) হাইপো-আস অ্যাসিড—হাইপোফসফরাস অ্যাসিড (H_3PO_2), হাইপো-ক্লোরাস অ্যাসিড (HOCl) এবং (ঘ) পার-অ্যাসিড—পারক্লোরিক অ্যাসিড ($HClO_4$), পার ম্যাঙ্গানিক অ্যাসিড ($HMnO_4$)। কোনো একটি মৌলের অ্যাসিডগুলিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যার ভিত্তিতে সাজালে দেখা যায় যে, পার-অ্যাসিড, ইক্-অ্যাসিড, আস-অ্যাসিড ও হাইপো-আস-অ্যাসিড এই সারি অনুযায়ী অক্সিজেনের পরিমাণ ক্রমশঃ কমে। অর্থাৎ, পার-অ্যাসিডে অক্সিজেনের পরিমাণ সব থেকে বেশী আর হাইপো-আস অ্যাসিডে অক্সিজেনের পরিমাণ সব থেকে কম থাকে। যেমন, $HClO_4$ (পারক্লোরিক অ্যাসিড), $HClO_3$ (ক্লোরিক অ্যাসিড), $HClO_2$ (ক্লোরাস অ্যাসিড) ও HClO (হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড)। তবে মৌল মাত্রেরই এতগুলি অ্যাসিড নাও থাকতে পারে।

(2) প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর উপর ভিত্তি করে অ্যাসিডগুলিকে বিভিন্ন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। অ্যাসিডের অণুতে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা ভিন্ন ভিন্ন হতে পারে। যেমন, HCl-এ প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা একটি। আবার H_2SO_4, H_3PO_4 এবং H_3PO_2-তে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা যথাক্রমে দুই, তিন এবং এক। আবার, কোনো অ্যাসিডের এক মোল অণুকে জলে দ্রবীভূত করলে উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়নের মোল-সংখ্যা অ্যাসিডটির একটি অণুতে অবস্থিত প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যার সমান হয়। সুতরাং, 1 মোল HCl 1 মোল H^+ আয়ন দিতে

পারে। একইভাবে, এক মোল H_3PO_2 সংকেত-একক 1 মোল H^+ আয়ন দেয়।

$$HCl = H^+ + Cl \; ; \quad H_3PO_3 = HP_2O_2^- + H^+$$

এক অণু কোনো অ্যাসিডের প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যাকে বা এক মোল অণু কোনো অ্যাসিডের থেকে উৎপন্ন H^+ আয়নের মোল-সংখ্যাকে অ্যাসিডটির **ক্ষারগ্রাহিতা** (Basicity) বলে। অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতার ভিত্তিতে অ্যাসিডগুলিকে চারটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়ঃ (i) এক-ক্ষারকীয় অ্যাসিড, যেমন, নাইট্রিক অ্যাসিড (HNO_3), হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিড (HCN) ; (ii) দ্বি-ক্ষারকীয় অ্যাসিড, যেমন, সালফিউরিক (H_2SO_4), কার্বনিক অ্যাসিড (H_2CO_3) ; (iii) ত্রিক্ষারকীয় অ্যাসিড, যেমন, ফসফোরিক অ্যাসিড (H_3PO_4), বোরিক অ্যাসিড (H_3BO_3) এবং (iv) বহুক্ষারকীয় অ্যাসিড, যেমন, পাইরোফসফোরিক অ্যাসিড ($H_4P_2O_7$)।

(3) কোনো কোনো অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে প্রোটনে বিয়োজিত হয়। আবার, কতকগুলি অ্যাসিড তাদের জলীয় দ্রবনে কিছুটা প্রোটনে বিয়োজিত হয়। তাই অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে এটির সম্পূর্ণ বা অসম্পূর্ণ বিয়োজনের উপর ভিত্তি করে শ্রেণীবদ্ধ করা যায়। এই পদ্ধতিতে দুইটি শ্রেণীতে অ্যাসিডগুলিকে বিভক্ত করা যায়। (i) তীব্র অ্যাসিড ও (ii) মৃদু অ্যাসিড।

(i) **তীব্র অ্যাসিডঃ** যে-সমস্ত অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে প্রোটনে ও অ্যানায়নে বিয়োজিত হয় সেগুলিকে **তীব্র** (Strong) **অ্যাসিড** বলে। HCl, HNO_3 ইত্যাদি তীব্র অ্যাসিডের উদাহরণ।

$$HCl = H^+ + Cl^- \; ; \quad HNO_3 = H^+ + NO'_3$$

(ii) **মৃদু অ্যাসিডঃ** যে-সব অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে কিছুটা বিয়োজিত হয়ে প্রোটন ও অ্যানায়ন গঠন করে এবং এই আয়নগুলি অবিয়োজিত অ্যাসিড অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে অথচ জলীয় দ্রবণটিকে লঘু করলে প্রোটনে বিয়োজনও বাড়তে থাকে তাদের **মৃদু** (weak) **অ্যাসিড বলে।** অ্যাসিটিক অ্যাসিড ও হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিড এই ধরনের অ্যাসিডের পর্যায় ভুক্ত। $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO' + H^+$; $HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$

অবশ্য অন্য কোনো দ্রাবকে তীব্র অ্যাসিড মৃদু অ্যাসিডের মতো ব্যবহার করতে পারে। অর্থাৎ, যে-কোনো অ্যাসিডের তীব্রতা একটি আপেক্ষিক ব্যাপার এবং দ্রাবকের আপেক্ষিকে তা বিচার্য।

অ্যাসিডের প্রস্তুতি : অ্যাসিড প্রস্তুতির তিনটি সাধারণ পদ্ধতির উল্লেখ করা যেতে পারে :

(1) আম্লিক অক্সাইড প্রস্তুত করে তা জলে দ্রবীভূত করলে অক্সি-অ্যাসিড তৈরী হয়। $CO_2+H_2O=H_2CO_3$;

$$SO_3+H_2O=H_2SO_4\ ;\ 2NO_2+H_2O=HNO_3+HNO_2$$

(2) হাইড্রোজেন ও অধাতুকে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত করে জলীয় দ্রবণ তৈরী করলে হাইড্রো-অ্যাসিড তৈরী হয়। যেমন, হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন গ্যাসকে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের দ্বারা সংযুক্ত করে জলে দ্রবীভূত করলে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড তৈরী হয়। $H_2+Cl_2=2HCl$; $HCl+H_2O=HCl$-এর দ্রবণ।

(3) লবণে অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে নতুন অ্যাসিড তৈরী হয়। এই পদ্ধতিতে হাইড্রো-অ্যাসিড ও অক্সি-অ্যাসিড দুই-রকম অ্যাসিডই তৈরী হয়। যেমন, সোডিয়াম ক্লোরাইড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় হাইড্রো-ক্লোরিক অ্যাসিড তৈরী হয়। আবার, পটাসিয়াম নাইট্রেট ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$2NaCl+H_2SO_4=Na_2SO_4+2HCl$$
$$2KNO_3+H_2SO_4=K_2SO_4+2HNO_3$$

অ্যাসিডের পরীক্ষা : (1) অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস কাগজকে লাল বর্ণে পরিণত করে। (2) সোডিয়াম কার্বনেট ও বাইকার্ব-নেটের সম্পৃক্ত দ্রবণে অ্যাসিড যুক্ত করলে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস চুণের জলের মধ্যে প্রবাহিত করলে প্রথমে তা ঘোলাটে হয় এবং পরে স্বচ্ছ হয়।

6·4. ক্ষারক (Bases) : অতীতে তিক্ত বা কষা স্বাদের পদার্থ যা ত্বককে নষ্ট করে তাকেই ক্ষারক বলা প্রচলিত ছিল। যেমন, চুনের জল [$Ca(OH)_2$], কাপড়কাচা সোডা (Na_2CO_3) ইত্যাদি।

ক্ষারকের ধর্ম ও সংজ্ঞার্থ : ক্ষারকগুলির একটি মাত্রই সাধারণ ধর্ম উল্লেখ করা যায়। ক্ষারকগুলি আম্লিক অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং লবণ উৎপন্ন করে। একইভাবে, ক্ষারকগুলি অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় জল ও লবণ তৈরী করে। ক্ষারকীয় অক্সাইডগুলি এবং ধাতব হাইড্র-ক্সাইডগুলি আম্লিক অক্সাইড ও অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ উৎপন্ন করে। সুতরাং, ধাতব অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডগুলিকে **ক্ষারক বলে।**

যেমন, ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইড (MgO) সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড (NaOH) ইত্যাদি। $MgO+CO_2=MgCO_3$; $MgO+2HCl=MgCl_2+H_2O$

$$2NaOH+SO_2=Na_2SO_3+H_2O$$

কতকগুলি ক্ষারক জলে দ্রবীভূত হয়। জলে দ্রবণীয় ক্ষারককে **ক্ষার** (Alkali) **বলে**। সোডিয়াম, পটাসিয়াম ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয়। সুতরাং, এগুলি ক্ষারও বটে।

$$Na_2O+H_2O=2NaOH \; ; \; K_2O+H_2O=2KOH$$

কিন্তু লোহার অক্সাইড বা হাইড্রক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয় না। সুতরাং, এই যৌগ দুইটি ক্ষারকমাত্র ক্ষার নয়। অতএব, **ক্ষার মাত্রই ক্ষারক** কিন্তু **ক্ষারক মাত্রই ক্ষার নয়**।

লালবর্ণের লিটমাস দ্রবণকে নীলবর্ণে পরিণত করা ক্ষারের একটি-বিশেষ **ধর্ম**। ক্ষারের দ্রবণ হাতে ঘসলে সাবানের মতো পিচ্ছিল হয়। ক্ষারের জলীয় দ্রবণে হাইড্রক্সাইড আয়ন (OH^-) তৈরী হয়।

অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিক্রিয়ায় দেখা যায় যে-অ্যাসিডের প্রোটন-কণা ক্ষারকের অক্সিজেন পরমাণুর (O'' ধরা যেতে পারে) বা, হাইড্রক্সাইড আয়নের (OH^-) সঙ্গে যুক্ত হয় ও জলের অণু গঠন করে। অর্থাৎ, ক্ষারকের প্রোটন গ্রহণ করার ক্ষমতা আছে। অতএব **যে-পদার্থের প্রোটন গ্রহণ করার ক্ষমতা আছে তাই ক্ষারক**। ব্রন্স্টেড ও লাওরী এই সংজ্ঞার্থ দিয়েছেন। আবার ক্ষারক প্রোটন গ্রহণ করে তার O'' বা OH^- আয়নের ইলেক্ট্রন দিয়ে। সুতরাং, যে-পদার্থ ইক্ট্রেন দিতে পারে তাকেই **ক্ষারক বলে**। ক্ষারকের এই সংজ্ঞার্থ বিজ্ঞানী লিউইস দিয়েছেন। অ্যামোনিয়া (NH_3) কোনো ধাতব যৌগ নয়। অর্থাৎ, এটি ধাতুর অক্সাইড বা হাইড্রক্সাইড যৌগ নয়। অথচ অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ লাল লিটমাসকে নীল লিটমাসে পরিণত করে। আমোনিয়ার জলীয় দ্রবণ ক্ষারের ধর্মসম্পন্ন। কিন্তু কেন? অ্যামোনিয়া অণু একটি প্রোটনকে গ্রহণ করতে পারে। সুতরাং, ব্রন্স্টেড ও লাওরীর তত্ত্ব অনুযায়ী এটি একটি ক্ষারক; অ্যামোনিয়ার নাইট্রোজেন পরমাণুর উপর একজোড়া অতিরিক্ত ইলেকট্রন আছে। এই অতিরিক্ত ইলেকট্রন যুগল প্রোটনকে দান করে তাকে গ্রহণ করে।

ক্ষারকের শ্রেণী বিভাগ: নানাভাবে ক্ষারকগুলিকে বিভিন্ন শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়। নীচে এইগুলি আলোচিত হল।

(1) প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রক্সিল মূলক বা অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যার উপর নির্ভর করে ক্ষারকগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ করা যায়। কারণ সব ক্ষারকে প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলক বা অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা সমান থাকে না। যেমন, NaOH, $Ca(OH)_2$ ও $Fe(OH)_3$-তে যথাক্রমে একটি দুইটি ও তিনটি প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলক আছে। আবার, CaO, Al_2O_3, PbO_2-তে যথাক্রমে একটি, তিনটি ও দুইটি অক্সিজেনের পরমাণু আছে। আবার, ক্ষারকের একটি অণুতে যতগুলি প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলক থাকে ততগুলি প্রোটনকে তা গ্রহণ করতে পারে। অন্যভাবে বলা যায় যে, ক্ষারকের এক মোল অণু যত মোল প্রোটন গ্রহণ করতে পারে তাই প্রতিস্থাপনযোগ্য -OH মূলকের সংখ্যার সমান হয়। একটি অক্সাইড আয়ন (O'') দুইটি প্রোটনকে গ্রহণ করে জল অণুতে পরিণত হয়। অর্থাৎ, এক মোল ক্ষারক-অণু যত মোল প্রোটন গ্রহণ করে, তা প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন পরমাণুর দুইগুণ। কোনো ক্ষারক যত মোল প্রোটনকে গ্রহণ করে সেই সংখ্যাকে ক্ষারকের **অ্যাসিড-গ্রাহিতা** বলে। যে ক্ষারকের অ্যাসিড-গ্রাহিতা যত তাকে তত অ্যাসিডিক ক্ষারক বলে। NaOH, KOH ইত্যাদি এক-অ্যাসিডিক ক্ষারক। $KOH + H^+ = K^+ + H_2O$

$$NaOH + H^+ = Na^+ + H_2O \; ; \; NH_4OH + H^+ = NH_4^+ + H_2O$$

$Ca(OH)_2$, Na_2O, FeO ইত্যাদি দ্বি-অ্যাসিডিক ক্ষারক।

$$Ca(OH)_2 + 2H^+ = Ca^{++} + 2H_2O \; ; \; Na_2O + 2H^+ = 2Na^+ + H_2O$$

$$FeO + 2H^+ = Fe^{++} + H_2O$$

PbO_2-এর অ্যাসিড-গ্রাহিতা হল চার। অনুরূপে, Fe_2O_3 ও Al_2O_3-এর অ্যাসিড-গ্রাহিতা হল ছয়।

$$PbO_2 + 4H^+ = Pb^{++++} + 2H_2O$$

$$Al_2O_3 + 6H^+ = 2Al^{+++} + 3H_2O$$

সুতরাং, PbO_2 এবং Al_2O_3 যথাক্রমে চতুঃ-অ্যাসিডিক ও ষট-অ্যাসিডিক ক্ষারক।

(2) জলীয় দ্রবণে ক্ষারকের আয়নে স্বতঃ বিয়োজিত হওয়ার মাত্রার উপর নির্ভর করে ক্ষারকগুলিকে দুইটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়ঃ (i) তীব্র ক্ষারক ও (ii) মৃদু ক্ষারক।

(i) **তীব্র ক্ষারকঃ** যে-সব ক্ষারক জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে আয়নে

বিয়োজিত হয় সেগুলিকে **তীব্র ক্ষারক বলে**। যেমন, NaOH, KOH ইত্যাদি।

(ii) **মৃদু ক্ষারক**ঃ যে-সব ক্ষারক জলীয় দ্রবণে কিছুটা বিয়োজিত হয়ে অবিয়োজিত ক্ষারক অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে তাদের **মৃদু ক্ষারক বলে।**

অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড, আয়রন হাইড্রক্সাইড, অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড ইত্যাদি মৃদু ক্ষারক।

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- ; \quad Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al^{+++} + 3OH^-$$

ক্ষারকের প্রস্তুতিঃ অক্সাইড ক্ষারকগুলির অর্থাৎ ক্ষারকীয় অক্সাইড-গুলির প্রস্তুতি আগেই আলোচিত হয়েছে। এখানে হাইড্রক্সাইড ক্ষারকগুলির প্রস্তুতি লিপিবদ্ধ করা হল ঃ

(1) ধাতুর ক্ষারকীয় অক্সাইডগুলিকে জলে দ্রবীভূত করলে হাইড্র-ক্সাইড ক্ষারকগুলি তৈরী হয়। $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$

(2) লবণের উপর ক্ষারকের বিক্রিয়ায় নূতন ক্ষারক ও নূতন লবণ তৈরী হয়। $Al_2(SO_4)_3 + 6NH_4OH = 2Al(OH)_3 + 3(NH_4)_2SO_4$

ক্ষারকের পরীক্ষাঃ জলে দ্রবণীয় ক্ষারকগুলি অর্থাৎ ক্ষারগুলি লাল-বর্ণের লিটমাস কাগজকে নীলবর্ণে পরিণত করে। এছাড়া ক্ষারকের কোনো প্রত্যক্ষ পরীক্ষা নেই।

6.5 লবণ (Salts)ঃ অতীতে লোনা স্বাদের যৌগকে লবণ বলা প্রচলিত ছিল। যেমন, সোডিয়াম ক্লোরাইড, পটাসিয়াম ক্লোরাইড ইত্যাদি।

লবণের সংজ্ঞার্থঃ আম্লিক অক্সাইড ও ক্ষারকীয় অক্সাইডের সংযোগে যে-পদার্থ তৈরী হয় তাই লবণ। আবার, অ্যাসিড ও ধাতুর বিক্রিয়ায় বা অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে হাইড্রোজেন ও জল বাদে অন্য যে-পদার্থ তৈরী হয় তাই লবণ।

$$CaO + CO_2 = CaCO_3 \text{ (লবণ)}$$
$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 \text{ (লবণ)} + H_2$$
$$Pb(OH)_2 + HCl = Pb(OH)Cl \text{ (লবণ)} + H_2O$$
$$KOH + H_2SO_4 = KHSO_4 \text{ (লবণ)} + H_2O$$
$$2KOH + H_2SO_4 = K_2SO_4 \text{ (লবণ)} + 2H_2O$$

লবণের ধর্ম ও শ্রেণী বিভাগঃ লবণ জলে দ্রবণীয় ও অদ্রবণীয় দুই হতে পারে। তবে অদ্রবণীয় লবণগুলি নগণ্য পরিমাণে হলেও জলে

দ্রবীভূত হয়। সাধারণভাবে তা বোঝা যায় না। লবণের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হতে পারে, ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হতে পারে আবার, ঐরূপ কোনো ধর্ম নাও থাকতে পারে। তীব্র অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারকের বিক্রিয়ায় তৈরী লবণের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হয়। ফেরিক ক্লোরাইড ($FeCl_3$) লবণ তৈরী হয় তীব্র অ্যাসিড (HCl) এবং মৃদু ক্ষারক [$Fe(OH)_3$]-এর বিক্রিয়ায়। তাই $FeCl_3$-এর জলীয় দ্রবণে নীল লিটমাস কাগজ লাল বর্ণ ধারণ করে।

আবার, মৃদু অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায় তৈরী লবণের জলীয় দ্রবণ ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন। হাইড্রসায়নিক অ্যাসিড একটি মৃদু অ্যাসিড এবং পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড একটি তীব্র ক্ষার। সুতরাং, এই দুইটির বিক্রিয়ায় তৈরী KCN-এর দ্রবণ ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন। KOH একটি তীব্র ক্ষার বলে KCN-এর জলীয় দ্রবণ লাল লিটমাস কাগজকে নীলবর্ণে পরিবর্তিত করে।

কিন্তু তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারক থেকে প্রস্তুত লবণের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড বা ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হয় না। তাই সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণে লাল বা নীল লিটমাসের বর্ণ অপরিবর্তিত থাকে। HCl এবং NaOH-এর বিক্রিয়ায় NaCl তৈরী হয়। HCl একটি তীব্র অ্যাসিড এবং NaOH একটি তীব্র ক্ষারক।

মৃদু ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিড থেকে তৈরী লবণও সাধারণতঃ প্রশম দ্রবণ তৈরী করে। অর্থাৎ, তা অ্যাসিড বা ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হয় না। অ্যাসিটিক অ্যাসিড একটি মৃদু অ্যাসিড এবং অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ একটি মৃদু ক্ষারক। তাই এই দুইটি পদার্থের বিক্রিয়ায় গঠিত লবণের জলীয় দ্রবণও প্রশম দ্রবণ হয়। এই লবণের নাম অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট (CH_3COONH_4)।

সুতরাং, লবণগুলিকে নিম্নোক্ত উপায়ে শ্রেণীবদ্ধ করা যায় ঃ

(1) তীব্র ক্ষারক ও তীব্র অ্যাসিড থেকে তৈরী লবণ (NaCl),

(2) তীব্র ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিড থেকে তৈরী লবণ (KCN),

(3) তীব্র অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারক থেকে তৈরী লবণ ($AlCl_3$) এবং

(4) মৃদু অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারক থেকে তৈরী লবণ (NH_4CN)।

কোনো কোনো লবণের অণুতে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু, অক্সিজেন পরমাণু বা হাইড্রক্সিল মূলক থাকে। আবার, কোনো কোনো লবণে ঐরূপ কোনো পরমাণু বা মূলক থাকে না। প্রতিস্থাপনযোগ্য হাই-

ড্রোজেন পরমাণু কোনো লবণে থাকলে তা প্রোটন দান করতে পারে। সুতরাং, সেই লবণকে অ্যাসিড-লবণ বলা যায়। আবার, প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন পরমাণু বা—OH মূলক যে-লবণে থাকে তা প্রোটন গ্রহণ করতে পারে। সুতরাং, এগুলিকে ক্ষারক-লবণ বলা যায়। আবার, যে-লবণে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন বা অক্সিজেন পরমাণু বা—OH মূলক থাকে না তা প্রোটন দান বা গ্রহণ করতে পারে না। এই ধরনের লবণকে প্রশম-লবণ বলে। অতএব, লবণের গঠনের উপর ভিত্তি করে এগুলিকে তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়ঃ (1) প্রশম-লবণ (2) অ্যাসিড-লবণ ও (3) ক্ষারক-লবণ।

(1) **প্রশম-লবণঃ** অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিক্রিয়ায় অ্যাসিডের অম্লত্ব ও ক্ষারকের ক্ষারকত্ব সম্পূর্ণরূপে প্রশমিত হয়ে যে লবণ গঠিত হয় তাকেই **প্রশম-লবণ** বলে। প্রশম-লবণের অ্যাসিড বা ক্ষারক-ধর্ম থাকে না। কারণ এই লবণে প্রতিস্থাপনযোগ্য কোনো হাইড্রোজেন বা অক্সিজেন পরমাণু বা—OH মূলক নেই। সোডিয়াম ক্লোরাইড, পটাসিয়াম সালফেট, জিঙ্ক ক্লোরাইড প্রভৃতি প্রশম-লবণের উদাহরণ।

$$NaOH + HCl = NaCl \text{ (প্রশম-লবণ) } + H_2O$$

$$2KOH + H_2SO_3 = K_2SO_3 \text{ (প্রশম-লবণ) } + 2H_2O$$

(2) **অ্যাসিড-লবণঃ** অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিক্রিয়ায় যখন ক্ষারকের ক্ষারকত্ব সম্পূর্ণরূপে প্রশমিত হয় অথচ অ্যাসিডের অম্লত্ব আংশিকভাবে প্রশমিত হওয়ার ফলে যে লবণ তৈরী হয় তাকেই **অ্যাসিড-লবণ** বলে। অ্যাসিডের অম্লত্ব আংশিকভাবে প্রশমিত হওয়ায় লবণটিতে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে এবং তা প্রোটন হিসাবে বিয়োজিত হতে পারে। সুতরাং, এই লবণের অ্যাসিড-ধর্ম থাকে। ফলে ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণটি প্রশম-লবণ তৈরী করে। পটাসিয়াম বাইসালফেট ($KHSO_4$) সোডিয়াম বাইকার্বনেট ($NaHCO_3$), ডাইসোডিয়াম হাইড্রোজেন ফসফেট প্রভৃতি অ্যাসিড-লবণের উদাহরণ।

$$KOH + H_2SO_4 = KHSO_4 \text{ (অ্যাসিড-লবণ) } + H_2O$$

$$NaOH + H_2CO_3 = NaHCO_3 \text{ (অ্যাসিড-লবণ) } + H_2O$$

$$2NaOH + H_3PO_4 = Na_2HPO_4 \text{ (অ্যাসিড-লবণ) } + 2H_2O$$

$$NaHSO_4 + NaOH = Na_2SO_4 \text{ (প্রশম-লবণ) } + H_2O$$

$$KHCO_3 + KOH = K_2CO_3 \text{ (প্রশম-লবণ) } + H_2O$$

(3) **ক্ষারক-লবণ ঃ** অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিক্রিয়ায় যখন অ্যাসিডের অম্লত্ব সম্পূর্ণরূপে প্রশমিত হয় অথচ ক্ষারকের ক্ষারকত্ব আংশিকভাবে প্রশমিত হওয়ার ফলে যে-লবণ তৈরী হয় তাকে **ক্ষারক-লবণ** বলে। ক্ষারক-লবণে প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন পরমাণু বা হাইড্রক্সিল মূলক থাকে। তাই এই লবণ ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হয়। এই কারণে এই লবণ প্রোটন গ্রহণ করতে পারে। ক্ষারক-লবণ অ্যাসিডের সঙ্গে তাই বিক্রিয়া করে এবং প্রশম-লবণ তৈরী করে। Ca(OH)Cl (ক্যালসিয়াম ক্লোরোহাইড্রক্সাইড), Pb(OH)Cl ইত্যাদি এই শ্রেণীর লবণের অন্তর্গত।

$$Ca(OH)_2+HCl=Ca(OH)Cl \text{ (ক্ষারক-লবণ) }+H_2O$$
$$Pb(OH)_2+HCl=Pb(OH)Cl \text{ (ক্ষারক-লবণ) }+H_2O$$
$$Ca(OH)Cl+HCl=CaCl_2 \text{ (প্রশম-লবণ) }+H_2O$$
$$Pb(OH)Cl+HCl=PbCl_2 \text{ (প্রশম-লবণ) }H_2O$$

লবণের প্রস্তুতি ঃ বিভিন্ন পদ্ধতিতে লবণ প্রস্তুত করা যায় ঃ

(1) ধাতু ও অধাতুর প্রত্যক্ষ সংযোগে কিছু কিছু লবণ তৈরী হয়। যেমন, আয়রনের গুঁড়ো ও সালফার-গুঁড়োকে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ফেরাস সালফাইড নামে প্রশম-লবণ তৈরী হয়। $Fe+S=FeS$

(2) অ্যাসিডের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ায় লবণ তৈরী হয়। যেমন, জিঙ্ক ধাতুর উপর সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় জিঙ্ক সালফেট নামে প্রশম-লবণ তৈরী হয়। $Zn+H_2SO_4=ZnSO_4+H_2$

(3) অ্যাসিড ও ক্ষারক বা ধাতুর কার্বনেটের বিক্রিয়ায় লবণ তৈরী হয়। সোডিয়াম কার্বনেট ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় সোডিয়াম সালফেট তৈরী হয়। সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ক্লোরাইড তৈরী হয়।

$$Na_2CO_3+H_2SO_4=Na_2SO_4+CO_2+H_2O$$
$$NaOH+HCl=NaCl+H_2O$$

(4) লবণের সঙ্গে অ্যাসিডের বা ক্ষারকের বিক্রিয়ায় নূতন লবণ তৈরী হয়। সোডিয়াম ক্লোরাইড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় সোডিয়াম সালফেট তৈরী হয়। আবার অ্যালুমিনিয়াম সালফেট ও অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়াম সালফেট তৈরী হয়।

$$2NaCl+H_2SO_4=Na_2SO_4+2HCl$$
$$Al_2(SO_4)_3+6NH_3+6H_2O=2Al(OH)_3+3(NH_4)_2SO_4$$

(5) দুইটি লবণের জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় নূতন লবণ তৈরী হয়। যেমন, সোডিয়াম ক্লোরাইড ও সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ মিশিয়ে দিলে সিলভার ক্লোরাইড তৈরী হয়। $NaCl+AgNO_3=AgCl+NaNO_3$

6.6 লবণের আর্দ্রবিশ্লেষণ (Hydrolysis of salts)ঃ যদি জল কোনো যৌগের অণুকে বিয়োজিত করে অর্থাৎ কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জল যদি বিক্রিয়ক হয় তাহলে সেই ঘটনাটিকে আর্দ্রবিশ্লেষণ বলা যায়। তবে জল অণুর দ্বারা লবণের মৃদু ক্ষারক বা মৃদু অ্যাসিড বা মৃদু ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিডে বিয়োজনকে আর্দ্রবিশ্লেষণ বলাই প্রচলিত। যে-সমস্ত লবণ মৃদু ক্ষারক ও তীব্র অ্যাসিডের অথবা তীব্র ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিডের অথবা মৃদু ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় তৈরী হয় তাদেরই আর্দ্রবিশ্লেষণ ঘটে। প্রকৃতপক্ষে **আর্দ্রবিশ্লেষণ, অ্যাসিড ও ক্ষারক থেকে লবণ গঠনের বিপরীত প্রক্রিয়া।**

ধরা যাক BOH একটি ক্ষারক এবং এটি জলীয় দ্রবণে B^+ ও OH^- আয়নে বিয়োজিত হয়। এই ক্ষারকের ধাতব অংশকে B দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে। অনুরূপে, ধরা যাক HA একটি অ্যাসিড এবং এটি জলীয় দ্রবণে H^+ ও A^- আয়নে বিয়োজিত হয়। এই অ্যাসিডের A^- অ্যানায়নের প্রতীক। এখন BOH ও HA-কে মিশিয়ে দিলে BA লবণ ও জল তৈরী হয়।

$$BOH+HA \rightleftharpoons BA+H_2O$$

এখন BA লবণকে জলে দ্রবীভূত করলে তা B^+ ও A^- আয়নে বিয়োজিত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে জল অণুও অল্প পরিমাণে H^+ ও OH^- আয়নে পরিণত হয়। $BA \rightleftharpoons B^+ + A^-$; $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

এই আয়নগুলির মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে ক্ষারক ও অ্যাসিড আবার তৈরী হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। $BA+H_2O \rightleftharpoons BOH+HA$

এখন ধরা যাক BOH একটি তীব্র ক্ষারক এবং HA একটি তীব্র অ্যাসিড। তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারক আবার জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। ফলে B^+, OH^-, H^+ ও A^- আয়ন নিয়মানুসারে সংযুক্ত হয়ে অ্যাসিড বা ক্ষারক কোনোটাই তৈরী করে না। সুতরাং, লবণটির জলীয় দ্রবণটির অ্যাসিড-ধর্ম বা ক্ষারক-ধর্ম কিছু থাকবে না। অতএব, রীতি অনুযায়ী এইরূপ লবণের জলের দ্বারা বিয়োজনকে আর্দ্রবিশ্লেষণ বলা যায় না।

কিন্তু লবণটি মৃদু ক্ষারক ও তীব্র অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় তৈরী হলে B^+ আয়ন OH^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হতেচাইবে। কারণ, মৃদু ক্ষারক জলীয়

দ্রবণে অল্প পরিমাণে আয়নিত হয় এবং অবিয়োজিত অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে। ফলে BOH ক্ষারক উৎপন্ন হবে। HA অ্যাসিডটি তীব্র হওয়ায় জলীয় দ্রবণে A^- আয়ন কখনই H^+ আয়নের সঙ্গে যুক্ত হতে চাইবে না। কারণ, তীব্র অ্যাসিড সম্পূর্ণরূপে আয়নে বিয়োজিত অবস্থায় জলীয় দ্রবণে থাকে। সুতরাং, লবণের জলীয় দ্রবণে BOH ক্ষারক প্রায় অবিয়োজিত অবস্থায় এবং H^+ ও A^- আয়ন থাকছে। এছাড়া জলের থেকে উৎপন্ন H^+ আয়ন ও OH^- আয়ন কম হলেও সমান সংখ্যায় থাকবে। ফলে H^+ আয়নের সংখ্যা OH^- আয়নের সংখ্যার থেকে বেশী হয়। তাই মৃদু ক্ষারক ও তীব্র অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হয়। আবার, জলের দ্বারা BA লবণ বিয়োজিত হয়ে মৃদু ক্ষারক BOH উৎপন্ন হয় বলে এই ঘটনাটিকে আর্দ্রবিশ্লেষণ বলে। $BA + H_2O \rightleftharpoons BOH + H^+ + A^-$

$$FeCl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^-$$

অনুরূপভাবে, মৃদু অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের দ্বারা গঠিত লবণের জলীয় দ্রবণে HA অ্যাসিড অবিয়োজিত অবস্থায় অল্প পরিমাণে উৎপন্ন H^+ ও A^- আয়নের সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে। কারণ, HA অ্যাসিটি মৃদু। কিন্তু ক্ষারক BOH তীব্র হওয়ায় তা সম্পূর্ণরূপে B^+ ও OH^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে দ্রবণে থাকবে। দ্রবণে এগুলি ছাড়া কিছুটা H^+ ও OH^- আয়ন সমসংখ্যায় থাকবে। সুতরাং, OH^- আয়নের পরিমাণ H^+ আয়নের তুলনায় বেশী বলে দ্রবণটি ক্ষারকীয় হয়। এক্ষেত্রে BA লবণের জলের দ্বারা বিয়োজনের ফলে মৃদু অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। সুতরাং, এটিও আর্দ্রবিশ্লেষণের একটি উদাহরণ।

$$BA + H_2O \rightleftharpoons HA + B^+ + OH^-$$
$$KCN + H_2O \rightleftharpoons HCN + K^+ + OH^-$$

আবার, মৃদু ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিড থেকে উৎপন্ন লবণের জলীয় দ্রবণে HA অ্যাসিড যেমন অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়ে অবিয়োজিত HA অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে তেমনি BOH ক্ষারক অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়ে অবিয়োজিত BOH অণুর সঙ্গে স্থিতাবস্থায় থাকে। এক্ষেত্রে HA অ্যাসিড ও BOH ক্ষারক উভয় পদার্থই মৃদু। তাই এই দুইটি পদার্থ একই রকম মৃদুতার হলে লবণের দ্রবণটি প্রশম হয়। কিন্তু এদের মধ্যে যেটি তীব্রতর দ্রবণের ধর্ম সেটির মতো হয়। $BA + H_2O \rightleftharpoons BOH + HA$

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-;\ BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-$$
$$NH_4CN + H_2O \rightleftharpoons NH_4OH + HCN$$
$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-;\ HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$$

সুতরাং, অ্যামোনিয়াম সায়ানাইড ও জলের বিক্রিয়ায় মৃদু ক্ষারক (NH_4OH) ও মৃদু অ্যাসিড (HCN) তৈরী হয়। অতএব, এই বিক্রিয়াটিও আর্দ্রবিশ্লেষণের উদাহরণ।

উপরিউক্ত আলোচনা থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, লবণকে জলে দ্রবীভূত করলে অনেক সময় মৃদু অ্যাসিড, মৃদু ক্ষারক ও উভয় পদার্থই তৈরী হয়। এই ঘটনাকেই আর্দ্রবিশ্লেষণ বলে। অতএব, **আর্দ্র বিশ্লেষণের সংজ্ঞার্থ হল : লবণের এক বা একাধিক আয়নের সঙ্গে জলের H^+ ও জলের OH^- আয়নের যে বিক্রিয়ায় (1) মৃদু অ্যাসিড বা (2) মৃদু ক্ষারক বা (3) মৃদু ক্ষারক ও মৃদু অ্যাসিড উৎপন্ন হয় তাকেই লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ বলে।** সোডিয়াম কার্বনেটের জলীয় দ্রবণ ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হয়। কারণ, জলীয় দ্রবণে H_2CO_3 (মৃদু অ্যাসিড) ও NaOH (তীব্র ক্ষারক)-এ লবণটি (Na_2CO_3) আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়।

$$Na_2CO_3+2H_2O \rightleftharpoons 2NaOH+H_2CO_3$$

6.7 অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের তুল্যাঙ্ক (Equivalent weight of acids, bases and salts) : পঞ্চম অধ্যায় থেকে জানা যায় যে, দুইটি বিক্রিয়াশীল পদার্থের তুল্যাঙ্ক অনুপাত সবসময়েই 1 : 1 হয়। তাই বিক্রিয়ক-গুলির তুল্যাঙ্ক জানা থাকলে বিভিন্ন রাসায়নিক গণনার জন্য অনেকসময় বিক্রিয়াটির পূর্ণ সমীকরণ লেখার প্রয়োজন হয় না। এইকারণেই কোনো পদার্থের পরিমাণ নির্দিষ্ট করার জন্য মোল-একক আন্তর্জাতিক একক হওয়া সত্ত্বেও দ্রবণ সংক্রান্ত আয়তনমিতির গণনায় তুল্যাঙ্কের ধারণা বিশেষ প্রয়োজনীয়। অবশ্য তুল্যাঙ্কের ব্যবহার খুব পুরানো এবং অনেক ক্ষেত্রেই দেখা যায় যে, একই বিক্রিয়কের বিভিন্ন বিক্রিয়ায় তুল্যাঙ্ক ভিন্ন ভিন্ন হয়। এটাই তুল্যাঙ্ক ব্যবহারের একটি গুরুত্বপূর্ণ অসুবিধা। এইসব ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার পূর্ণ সমীকরণ লেখার প্রয়োজন হয়। যাই হোক, অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের তুল্যাঙ্ক এই অনুচ্ছেদের আলোচনার বিষয়বস্তু।

কোনো যৌগের যত ভাগ ওজনে যৌগটির বিক্রিয়াশীল উপাদানের এক তুল্যাঙ্ক ভাগ থাকে তাকেই উক্ত যৌগের **তুল্যাঙ্ক বলে।** অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের ক্ষেত্রে যথাক্রমে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু, অক্সিজেন পরমাণু বা হাইড্রক্সিলমূলক এবং ক্যাটায়ন (ধাতব আয়ন বা NH_4^+) বিক্রিয়াশীল উপাদান হওয়ায় এইগুলির পরিপ্রেক্ষিতেই উপরিউক্ত তিন ধরনের যৌগের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

আবার, **ইলেক্ট্রনীয়** তত্ত্ব অনুসারে কোনো যৌগের এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের যত ভাগ এক মোল ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করে তাকেই যৌগটির **গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে। অ্যাসিড প্রোটন দান করে এবং তা ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে। ক্ষারক ইলেকট্রন দান করে। লবণের ক্যাটায়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে। সুতরাং, ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুসারে H^+ আয়ন, OH^- আয়ন বা O^- আয়ন এবং ক্যাটায়নের ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জনই হল অ্যাসিড, ক্ষারক বা লবণের তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের ভিত্তি। সুতরাং, কোনো যৌগের গ্রাম-

$$\text{তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{যৌগটির গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জনের মোল-সংখ্যা}},$$

যদি যৌগটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক $=E$, গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব $=m$, গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব $=f$ এবং বিক্রিয়াশীল উপাদানের দ্বারা গৃহীত বা বর্জিত ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা $=n$ হয়, তাহলে: $E=\frac{f}{n}$ বা $\frac{m}{n}$

অ্যাসিডের তুল্যাঙ্ক: সাধারণভাবে বলা যায় যে, কোনো অ্যাসিডের যত ভাগ ওজনে 1·008 ভাগ ওজনের প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন আছে তাই **অ্যাসিডটির তুল্যাঙ্ক**। কিন্তু হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব 1·008 হয়। অর্থাৎ, একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর আপেক্ষিক ভর 1·008। সুতরাং, অ্যাসিডের তুল্যাঙ্ক

$$= \frac{\text{অ্যাসিডটির সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{অ্যাসিডের সংকেত-এককে প্রতিস্থাপনযোগ্য H পরমাণুর সংখ্যা}}$$

সংকেত-গুরুত্ব একটি সংখ্যা হওয়ায় কোনো পদার্থের তুল্যাঙ্ক একটি সংখ্যা মাত্র। অবশ্য তুল্যাঙ্ককে গ্রাম-এককে প্রকাশ করলে তা গ্রাম-তুল্যাঙ্ক হয়। অন্যভাবে বলা যায়: কোনো অ্যাসিডের এক মোল বা এক গ্রাম-সংকেত-এককের যত অংশে এক মোল প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে তাকেই অ্যাসিডটির **গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে। অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক

$$= \frac{\text{অ্যাসিডের এক মোল সংকেত-একক}}{\text{এক মোল সংকেত-এককে প্রতিস্থাপনযোগ্য H-পরমাণুর মোল-সংখ্যা}}$$

$$\text{বা,}\quad E=\frac{f}{n}$$

যেখানে $E=$গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, $f=$গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং $n=$অ্যাসিডের 1 মোল সংকেত-এককে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা।

6.1 নং গাণিতিক উদাহরণ: HCl-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত?

(a) **প্রদত্ত তথ্য ঃ** অ্যাসিডটির সংকেত-একক—HCl

(b) **নির্ণেয় তথ্য ঃ** HCl-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক

(c) **সমাধানের পথ ঃ** $E=\frac{f}{n}$; যেখানে E=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f=গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং n= 1 মোল HCl-এ হাইড্রোজেন পরমাণুর মোল-সংখ্যা

(d) **প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ**

(i) HCl-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব—36·461g (f)

(ii) 1 মোল HCl-এ H পরমাণুর মোল-সংখ্যা—1 মোল (n)

(e) **গাণিতিক সমাধান ঃ** $E=\frac{36{\cdot}461g}{1}$

∴ HCl-এর নির্ণেয় গ্রাম-তুল্যাঙ্ক=36·461g

6.2 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ সালফিউরিক অ্যাসিডের গ্রাম তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ ঃ** $E=\frac{f}{n}$; যেখানে E=অ্যাসিডটির গ্র্যম-তুল্যাঙ্ক f=অ্যাসিডটির গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং n=অ্যাসিডটির 1 মোল সংকেত-এককে প্রতিস্থাপনযোগ্য H পরমাণুর মোল-সংখ্যা।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ** (i) অ্যাসিডের সংকেত-একক—H_2SO_4

(ii) H_2SO_4-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব—98·072

এবং (iii) 1 মোল H_2SO_4-এ প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণুর মোল-সংখ্যা—2

(c) **গাণিতিক সমাধান ঃ** $E=\frac{98{\cdot}072g}{2}=49{\cdot}036g$

∴ সালফিউরিক অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক=49·036g

সুতরাং, 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক H_2SO_4-এর অর্থ হল—49·036g H_2SO_4-এ 1 মোল প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। আবার, H_2SO_4-এর তুল্যাঙ্ক 49·036—এই কথার অর্থ হল—এক তুল্যাঙ্ক বা 49·036 ভাগ ভরের H_2SO_4-এ 1·008 ভাগ ভরের প্রতিস্থাপনযোগ্য H-পরমাণু আছে।

ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞার্থ হল ঃ কোনো অ্যাসিডের 1 গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের বা 1 মোল সংকেত-এককের যতটা অংশ 1 মোল হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটন (H^+) দিতে

পারে অর্থাৎ 1 মোল ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে তাকেই **অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে।** কাজেই, অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক

$$= \frac{\text{অ্যাসিডটির গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{1 মোল সংকেত-এককের অ্যাসিডের দ্বারা বর্জিত } H^+ \text{ আয়নের মোল-সংখ্যা বা গৃহীত ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা}}$$

বা, $E=\frac{f}{n}$, যেখানে E=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f=গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং n= 1 গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের অ্যাসিডের দ্বারা বর্জিত H^+ আয়নের মোল-সংখ্যা বা গৃহীত ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা।

6.3 নং গাণিতিক উদাহরণ : H_3PO_4-এর তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** $E=\frac{f}{n}$ $\therefore$ তুল্যাঙ্ক$=\frac{f}{n\times g}$

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) অ্যাসিডটির গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব 96·99g

(ii) 1 মোল H_3PO_4-এর H^+ আয়ন দেওয়ার ক্ষমতা—3 মোল।

(c) **গাণিতিক সমাধান :** তুল্যাঙ্ক$=\frac{96 \cdot 99g}{3\times g}=32 \cdot 33$

$\therefore$ H_3PO_4-এর নির্ণেয় তুল্যাঙ্ক$=32 \cdot 33$

যে-কোনো পদার্থের তুল্যাঙ্ক বিক্রিয়ার ধরনের উপর নির্ভর করে। তাই অনেকক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়ার পূর্ণ সমীকরণ লিখে ঐ বিক্রিয়ায় কত মোল ইলেকট্রন গৃহীত বা বর্জিত হয়েছে তা নির্দিষ্ট করতে হয়।

6.4 নং গাণিতিক উদাহরণ : সালফিউরিক অ্যাসিড ও সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের বিক্রিয়ায় সোডিয়াম বাইসালফেট তৈরী হয়। এই বিক্রিয়ায় সালফিউরিক অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** $E=\frac{f}{n}$; যেখানে E=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক ; f= গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং n=প্রদত্ত বিক্রিয়ায় 1 মোল H_2SO_4 দ্বারা প্রদত্ত H^+ আয়নের মোল-সংখ্যা।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) বিক্রিয়ার সঙ্গে জড়িত সমস্ত পদার্থের সংকেত-একক—H_2SO_4, $NaOH$, $NaHSO_4$। (ii) বিক্রিয়াটির পূর্ণ সমীকরণ

$$H_2SO_4+NaOH=NaHSO_4+H_2O$$

(iii) H_2SO_4-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব—98·072g, (iv) 1 মোল অ্যাসিড থেকে প্রদত্ত প্রোটনের মোল-সংখ্যা (এই বিক্রিয়ায়)— 1

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $E=\frac{98\cdot072g}{1}=98\cdot072g$

6.5 নং গাণিতিক উদাহরণ : 2g HCl-এ কত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক HCl আছে ?

(a) **সমাধানের পথ :** $X=\frac{W}{E}$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বা, $X=\frac{W}{f/n}$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক ; যেখানে W=প্রদত্ত অ্যাসিডের গ্রাম-এককে পরিমাণ, f=গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং n=1 মোল HCl দ্বারা প্রদত্ত প্রোটনের মোল সংখ্যা এবং X=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যা।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) HCl-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব—36·461g

(ii) 1 মোল HCl দ্বারা প্রদত্ত প্রোটনের মোল-সংখ্যা—1 (n) মোল।

(iii) W=2g

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $X=\frac{2g}{36\cdot461\div1}$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক

$=0\cdot0548$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক HCl

6.6 নং গাণিতিক উদাহরণ : 4g হাইড্রোজেন ক্লোরাইড যদি 0·1096 তুল্যাঙ্ক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড হয় তাহলে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** E (গ্রাম-তুল্যাঙ্ক) $=\frac{\text{গ্রাম-এককে পরিমাণ (W)}}{\text{তুল্যাঙ্ক পরিমাণ (x)}}$

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** W ও x-এর পরিমাণ দেওয়া আছে এবং E নির্ণেয়। সুতরাং, অন্য কোনো তথ্যের প্রয়োজন নেই।

(c) **গাণিতিক সমাধান :** হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক

$=\frac{4g}{0\cdot1096}=36\cdot461g$

6.7 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0·0274 তুল্যাঙ্কের HCl সমান কত গ্রাম HCl ?

(a) **সমাধানের পথ :** HCl-এর গ্রাম-এককে পরিমাণ (W)=প্রদত্ত HCl-এর তুল্যাঙ্ক পরিমাণ (x)×HCl-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক (E)

বা $W=x\times E$

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** HCl-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক—36·461g

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $W=0\cdot0274\times36\cdot461g$ বা, 1·0g (প্রায়)

ক্ষারকের গ্রাম তুল্যাঙ্ক ঃ কোনো ক্ষারকের যতভাগ ওজনে 7·999 ভাগ ওজনের প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন বা, 17·007 ভাগ ওজনের প্রতিস্থাপনাযাগ্য—OH মূলক থাকে তাকেই **ক্ষারকটির তুল্যাঙ্ক** বলে। কিন্তু একটি অক্সিজেন পরমাণুর আপেক্ষিক ভর বা পারমাণবিক গুরুত্ব 15·999 হয়। সুতরাং, 7·999 ভাগ ভরের অক্সিজেন মানে একটি অক্সিজেন পরমাণুর অর্ধেক অংশ। অতএব,

$$\text{অক্সাইড ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{অক্সাইড ক্ষারকের সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা} \times 2}$$

আবার, 17·007 ভাগ প্রতিস্থাপন যোগ্য—OH মূলক মানে একটি প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলক। অতএব,

$$\text{হাইড্রক্সাইড ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{হাইড্রক্সাইড ক্ষারকের সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলকের সংখ্যা}}$$

সংকেত-গুরুত্বের কোনো একক না থাকায় ক্ষারকের তুল্যাঙ্কেরও কোনো একক নেই। তবে ক্ষারকের তুল্যাঙ্ককে গ্রাম-এককে প্রকাশ করলে তা গ্রাম-তুল্যাঙ্ক হয়।

ক্ষারক অ্যাসিডের প্রোটনকে গ্রহণ করে অ্যাসিডের অম্লত্ব নষ্ট করে। 1 মোল প্রোটনকে গ্রহণ করতে 1 মোল ইলেকট্রন দরকার হয়। সুতরাং, **ক্ষারকের গ্রাম-তুল্যাঙ্কের নূতন সংজ্ঞার্থ হল ঃ** কোনো ক্ষারকের এক মোল সংকেত-এককের বা এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের যতটা অংশ এক মোল প্রোটন গ্রহণ করে বা এক মোল ইলেকট্রন দান করে তাকেই ক্ষারকের **গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে। 1 মোল অক্সিজেন আয়ন 2 মোল প্রোটন গ্রহণ করে অর্থাৎ অর্ধমোল অক্সিজেন আয়ন 1 মোল প্রোটন গ্রহণ করে। অতএব, অর্ধমোল $O^{=}$ আয়ন বা 1 মোল OH^{-} আয়ন 1 মোল সংকেত-এককের বা এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের ক্ষারকের যতটা অংশ দিতে পারে তাকেই ক্ষারকের **গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলা হয়।

অ্যাসিডের মতো অনেক ক্ষারকেরই তুল্যাঙ্ক বিভিন্ন বিক্রিয়ায় বিভিন্ন রকম হয় এবং তা নির্ভর করে ক্ষারকটির নির্দিষ্ট বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণের ধরনের উপর।

6.8 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ NaOH-এর তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) সমাধানের পথ ঃ $\text{তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলকের সংখ্যা}}$

(b) প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ (i) NaOH-এর সংকেত-গুরুত্ব 39·9936

(ii) প্রতি সংকেত-একক NaOH-এ প্রতিস্থাপনযোগ্য—OH মূলকের সংখ্যা—1

(c) গাণিতিক সমাধান ঃ NaOH-এর তুল্যাঙ্ক $= \frac{39 \cdot 9986}{1}$

$= 39 \cdot 9986$

6.9 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ $Al(OH)_3$-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) সমাধানের পথ ঃ $E = \frac{f}{n}$; যেখানে E=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f= গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব, n=$Al(OH)_3$-এর এক মোল সংকেত-একক থেকে প্রাপ্ত OH^- আয়নের মোল-সংখ্যা বা, 1 মোল সংকেত-এককের $Al(OH)_3$-এর দ্বারা গ্রহণযোগ্য H^+ আয়নের মোল-সংখ্যা বা, 1 মোল সংকেত-এককের $Al(OH)_3$-এর দ্বারা বর্জনযোগ্য ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা।

(b) প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ (i) $Al(OH)_3$-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব (f) =78·00g এবং (ii) n-এর মান=3 মোল

(c) গাণিতিক সমাধান ঃ $E = \frac{78 \cdot 00g}{3} = 26g$

$\therefore$ $Al(OH)_3$-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক=26g

6.10 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ Fe_2O_3-এর তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) সমাধানের পথ ঃ Fe_2O_3-এর তুল্যাঙ্ক

$$= \frac{Fc_2O_3\text{-এর সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{আয়রনের মোট যোজ্যতা}}$$

(b) প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ (i) Fe_2O_3-এর সংকেত-গুরুত্ব=159·67।

(ii) দুটি আয়রন পরমাণুর যোজ্যতা=6

(c) গাণিতিক সমাধান ঃ

Fe_2O_3-এর তুল্যাঙ্ক $= \frac{159 \cdot 67}{6} = 26 \cdot 61g$

প্রশম-লবণের তুল্যাঙ্ক ঃ যত ভাগ প্রশম-লবণে এক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ কোনো ধাতু বা ধাতব ধর্মসম্পন্ন মূলক থাকে তাকেই **লবণটির তুল্যাঙ্ক বলে।** আবার, কোনো ধাতুর তুল্যাঙ্ক তার পারমাণবিক গুরুত্ব ও যোজ্যতার অনুপাত হওয়ায়,

$$\text{লবণের তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{লবণটির সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{লবণের সংকেত-এককে ধাতুর মোট যোজ্যতা}}$$

$$= \frac{\text{লবণটির সংকেত-গুরুত্ব}}{\text{সংকেত-এককে ধাতুর পরমাণুর সংখ্যা} \times \text{ধাতুটির যোজ্যতা}}$$

$$= \frac{f}{n \times v}$$

যেখানে f=লবণের সংকেত-গুরুত্ব, n=লবণের সংকেত-এককে ধাতুর পরমাণুর সংখ্যা এবং v=ধাতুটির যোজ্যতা।

6.11 নং গাণিতিক উদাহরণ : ক্যালসিয়াম কার্বনেটের তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** লবণের তুল্যাঙ্ক $= \frac{f}{n \times v}$

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) লবণের সংকেত-গুরুত্ব—100·08

(ii) $CaCO_3$-এ Ca পরমাণুর সংখ্যা—1

(iii) ক্যালসিয়ামের যোজ্যতা—2

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $CaCO_3$-এর তুল্যাঙ্ক $= \frac{100 \cdot 08}{1 \times 2} = 50 \cdot 04$

কোনো লবণের তুল্যাঙ্ককে গ্রাম-এককে প্রকাশ করলে তা গ্রাম-তুল্যাঙ্ক হয়। আবার, লবণের বিক্রিয়াশীল অংশ ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়ন হওয়ায় বলা যায় যে, কোনো লবণের 1 মোল সংকেত-এককের অর্থাৎ, এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের যত ভাগ 1 মোল ইলেকট্রন গ্রহণ করার ক্ষমতা রাখে তাকেই লবণটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে। এটাই লবণের **গ্রাম-তুল্যাঙ্কের আধুনিক সংজ্ঞার্থ।**

$$\text{লবণের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক (E)} = \frac{\text{লবণের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব (f)}}{\text{1 মোল সংকেত-এককের ক্যাটায়ন দ্বারা গ্রহণ-যোগ্য ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা (n)}}$$

$$\therefore \quad E = f/n$$

অ্যাসিড-লবণ ও ক্ষারক-লবণের ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার পূর্ণ সমীকরণ থেকে লবণের ক্যাটায়নের দ্বারা গ্রহণযোগ্য ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা নির্ণয় করে লবণটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করতে হয়।

6.12 নং উদাহরণ : $Mg_3(PO_4)_2$ এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ?

(a) **সমাধানের পথ :** $E = \frac{f}{n}$; E=লবণের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f=প্রদত্ত

লবণের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব এবং $n=1$ মোল সংকেত-এককের পরিমাণ লবনের ক্যাটায়নের দ্বারা গ্রহণযোগ্য ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা।

(b) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** (i) $f=214 \cdot 25g$

(ii) $Mg_3(PO_4)_2=3Mg^{++}+2PO_4^{III}$; $3Mg^{++}+6e=3Mg$

∴ 1 মোল $Mg_3(PO_4)_2$ থেকে তৈরী 3 মোল Mg^{++} ক্যাটায়নের গ্রহণযোগ্য ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা$=6$

(c) **গাণিতিক সমাধান :** $E=\dfrac{214 \cdot 25}{6}=35 \cdot 708g$

6.8 দ্রবণ ও দ্রবণের গাঢ়ত্ব (Solution and its concentration) : একাধিক পদার্থের সমসত্ত্ব মিশ্রণকে **দ্রবণ** বলে। কোনো দ্রবণে যদি কোনো একটি পদার্থের ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে তাহলে সেটিকে **দ্রাবক** (Solvent) এবং মিশ্রণের অন্য পদার্থগুলিকে **দ্রাব** (Solute) বলে। আবার, যদি কোনো দ্রবণের একাধিক পদার্থের ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে তাহলে যেটি পরিমাণে বেশী থাকে সেটিকে **দ্রাবক** বলে। স্বভাবতঃই দ্রবণের অন্য উপাদানগুলিকে **দ্রাব** বলা হয়। সুতরাং,

দ্রাব+দ্রাবক=দ্রবণ

চিনি+জল=চিনির জলীয় দ্রবণ

যে-কোনো দ্রবণের কিছু কিছু ধর্ম দ্রাব এবং দ্রাবক বা দ্রাব এবং দ্রবণের আপেক্ষিক পরিমাণের উপর অর্থাৎ এগুলির পরিমাণের অনুপাতের উপর নির্ভর করে। যেমন, এক কাপ জলে এক চামচ চিনি মেশালে যে-রকম মিষ্টি হয় দুই চামচ চিনি দিলে তার থেকে বেশী মিষ্টি হয়। আবার আধ চামচ চিনিতে মিশ্রণের মিষ্টি স্বাদ কমে। অর্থাৎ চিনি (দ্রাব) আর জলের (দ্রাবক) বা, দ্রবণের (মিশ্রণের) আপেক্ষিক পরিমাণের উপর স্বাদ নির্ভর করে।

অনুরূপভাবে, রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি ও প্রকৃতি দ্রাব ও দ্রাবকের বা দ্রবণের পরিমাণের উপর নির্ভর করে এবং বেশীর ভাগ রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্রবণে সংঘটিত হয়। জলকেই এই সব দ্রবণে দ্রাবক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। কোনো দ্রবণের দ্রাব ও দ্রাবকের বা দ্রাব ও দ্রবণের **আপেক্ষিক পরিমাণটিকে দ্রবণটির গাঢ়ত্ব** (Concentration) বলে। যে দ্রবণের গাঢ়ত্ব অর্থাৎ দ্রাব ও দ্রাবকের বা দ্রাব ও দ্রবণের আপেক্ষিক পরিমাণ জ্ঞাত তাকে **প্রমাণ দ্রবণ** (Standard solution) বলে।

যদি বলা হয় 5g চিনি 100 ml জলে দ্রবীভূত আছে তাহলে এটিকে প্রমাণ

দ্রবণ বলা যায়। কারণ দ্রবণটির গাঢ়ত্ব জ্ঞাত এবং সেটির মান 5g/100ml হয়। এখানে দ্রাবের পরিমাণ ভরের এককে (গ্রামে) এবং দ্রাবকের পরিমাণ আয়তনের এককে (মিলি লিটারে) প্রকাশ করা হয়েছে। উপরি-উক্ত দ্রবণের গাঢ়ত্ব 5g/100ml বলতে 5g চিনি প্রতি 100ml জলে দ্রবীভূত করা হয়েছে বোঝায়। প্রমাণ দ্রবণের গাঢ়ত্ব বিভিন্নভাবে প্রকাশ করা যায়। যেমন,

(ক) দ্রাব ও দ্রাবকের (1) ওজন/ওজন অনুপাতের,
(2) ওজন/আয়তন অনুপাতের ও
(3) আয়তন/আয়তন অনুপাতের দ্বারা,

এবং (খ) দ্রাব ও দ্রবণের (1) ওজন/ওজন অনুপাতের,
(2) ওজন/আয়তন অনুপাতের ও
(3) আয়তন/আয়তন অনুপাতের দ্বারা।

অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের জলীয় দ্রবণের গাঢ়ত্ব দ্রাব ও দ্রবণের ওজন (গ্রাম-এককে) / আয়তন (লিটার-এককে) অনুপাতের দ্বারা প্রকাশ করার পদ্ধতিই এই অনুচ্ছেদের আলোচ্য বিষয়বস্তু। এই পদ্ধতিতে দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশের তিনটি একক আছে। এই এককগুলির নাম হল: (i) নরম্যালিটি (Normality) (ii) মোলারিটি (Molarity) ও (iii) ফরম্যালিটি (Formality)। নীচে এই এককগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করা হল।

(i) নরম্যালিটি: এক লিটার দ্রবণে কোনো দ্রাবের যত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ দ্রবীভূত থাকে সেই সংখ্যাটিকে দ্রবণটির **নরম্যালিটি** বলে। নরম্যালিটি এককের প্রতীক হিসাবে N লেখা হয়। যদি Vl কোনো দ্রবণে কোনো দ্রাবের n গ্রাম-তুল্যাঙ্ক দ্রবীভূত থাকে তাহলে দ্রবণটির নরম্যালিটি এককে গাঢ়ত্ব, $N=\frac{n}{V}$ বা, $\text{নরম্যালিটি}=\frac{\text{দ্রাবের গ্রাম-তুল্যাঙ্কের সংখ্যা}}{\text{দ্রবণের লিটার-সংখ্যা}}$

এখন, যদি $n=1$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক হয় এবং $V=1l$ হয় তাহলে $N=1$

সুতরাং, কোনো দ্রাবের $1l$ দ্রবণে যদি 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে তাহলে দ্রবণটির গাঢ়ত্বকে **1 N বা এক নরম্যাল**, বা **নরম্যাল** বলা হয়। অতএব, "6N HCl দ্রবণ" কথাটির অর্থ হল $1l$ 6N HCl দ্রবণে 6 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ HCl আছে। অনুরূপভাবে বলা যায় যে, $1l$ xN দ্রবণে x গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ দ্রাব থাকে। আবার, HCl-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক 36·461g হওয়ায় 6N HCl-এর $1l$ দ্রবণে $6\times36{\cdot}461g$ বা 218·766g HCl দ্রবীভূত থাকে।

(ii) **মোলারিটি ঃ** কোনো দ্রাবের এক লিটার দ্রবণে যত গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে সেই সংখ্যাকে দ্রবণের **মোলারিটি** বলে। মোলারিটির প্রতীক হিসাবে M ব্যবহৃত হয়। যদি V*l* দ্রবণে n গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে তাহলে, $M=\frac{n}{V}$

এখন, যদি কোনো দ্রবণে দ্রাবের গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের সংখ্যা $(n)=1$ এবং দ্রবণের লিটারের সংখ্যা $(V)=1$ হয়, তাহলে, $M=1$; অতএব, কোনো দ্রাবের এক লিটার দ্রবণে এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকলে তাকে **1 M বা এক মোলার বা মোলার দ্রবণ বলে।**

(iii) **ফরম্যালিটি ঃ** যে-সব দ্রাবের প্রকৃত আণবিক সংযুতি জানা থাকে না বা জানা থালেও তা লেখায় অসুবিধা থাকে সেগুলিকে সংকেত-এককের দ্বারা সাংকেতিক ভাষায় লিখি। এই সব দ্রাবের ক্ষেত্রে মোলার দ্রবণ কথাটি ব্যবহার করা ঠিক নয়। এই কারণেই ফরম্যালিটি নামে গাঢ়ত্বের আরও একটি এককের প্রচলন হয়েছে। কোনো দ্রাবের এক লিটার দ্রবণে যত গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে সেই সংখ্যাকে দ্রবণটির **ফরম্যালিটি** (F) বলে। সুতরাং, $F=\frac{n}{V}$; যেখানে $n=$ দ্রাবের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের সংখ্যা এবং $V=$দ্রবণের লিটার-সংখ্যা

n ও V-এর মান 1 হলে, $F=1$; অর্থাৎ, 1*l* দ্রবণে 1 গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকলে তাকে **1F বা ফরম্যাল দ্রবণ** বলে।

ধরা যাক কোনো দ্রাবের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক$=E$ ও গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব$=m$ এবং গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব$=f$। এই দ্রাবের w গ্রাম জলে দ্রবীভূত করে V লিটার দ্রবণ তৈরী করা হয়েছে। সুতরাং, নরম্যালিটি, মোলারিটি ও ফরম্যালিটির সংজ্ঞার্থ থেকে যথাক্রমে পাই ঃ

(i) $N=\frac{w/E}{V}$ বা, $N=\frac{w}{E\times V}$ বা, $N\times E=\frac{w}{V}$

অর্থাৎ, **নরম্যালিটি × গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = প্রতি লিটার দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ।** আবার $w=N\times E\times V$

বা, দ্রাবের মোট পরিমাণ = নরম্যালিটি × দ্রাবের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক × দ্রবণের লিটার-সংখ্যা।

(ii) $M=\frac{w/m}{V}$ বা $M=\frac{w}{V\times m}$ বা $M\times m=\frac{w}{V}$

অর্থাৎ, মোলারিটি × গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব = প্রতি লিটার দ্রবণে গ্রাম-এককে দ্রাবের মোট পরিমাণ। আবার, $w = M \times m \times V$

$\therefore$ দ্রাবের মোট পরিমাণ = মোলারিটি × গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব × দ্রবণের লিটার-সংখ্যা।

(iii) $F \times f = \frac{w}{V}$ বা, $W = F \times f \times V$

অর্থাৎ, ফরম্যালিটি × গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব = প্রতি লিটার দ্রবণে দ্রাবের গ্রাম-এককে পরিমাণ

এবং দ্রাবের মোট পরিমাণ = ফরম্যালিটি × গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব × দ্রবণের লিটার-সংখ্যা।

ব্যবহারিক কাজের জন্য নরম্যাল দ্রবণ যথেষ্ট গাঢ়। তাই এই সব এককে কম গাঢ়ত্বের দ্রবণের ব্যবহার বেশী। নীচে একটি ছকে এগুলি লিপিবদ্ধ করা হল।

দ্রবণের নাম	সংকেত	লিটার প্রতি দ্রাবের পরিমাণ
1. অর্ধ বা সেমি নর্ম্যাল	0·5 N বা $\frac{N}{2}$	0·5 × E বা $\frac{E}{2}$
2. পেন্টি নরম্যাল	0·2 N বা $\frac{N}{5}$	0·2 × E বা $\frac{E}{5}$
3. ডেসি নরম্যাল	0·1 N বা $\frac{N}{10}$	0·1 × E বা $\frac{E}{10}$
4. সেন্টি নরম্যাল	0·01 N বা $\frac{N}{100}$	0·01 × E বা $\frac{E}{100}$
5. মিলি নরম্যাল	0·001 N বা $\frac{N}{1000}$	0·001 × E বা $\frac{E}{1000}$
6. সেমি মোলার	0·5 M বা $\frac{M}{2}$	0·5 × m বা $\frac{m}{2}$
7. পেন্টি মোলার	0·2 M বা $\frac{M}{5}$	0·2 × m বা $\frac{m}{5}$
8. ডেসি মোলার	0·1 M বা $\frac{M}{10}$	0·1 × m বা $\frac{m}{10}$
9. সেন্টি মোলার	0·01 M বা $\frac{M}{100}$	0·01 × m বা $\frac{m}{100}$
10. মিলি মোলার	0·001 M বা $\frac{M}{1000}$	0·001 × m বা $\frac{m}{1000}$

6.1 নং ছক

নরম্যালিটি, মোলারিটি বা ফরম্যালিটির মধ্যে সম্পর্ক: মোলারিটি একক ও ফরম্যালিটি একক সমার্থক। প্রথমটিতে গ্রাম-আণবিক গুরুত্বের দ্বারা এবং দ্বিতীয়টিতে গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের দ্বারা দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ নির্দিষ্ট করা হয়। নরম্যাল দ্রবণে গ্রাম-তুল্যাঙ্ক দ্রাবের পরিমাণ নির্ধারিত করে। সুতরাং, গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব বা গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের সঙ্গে গ্রাম-তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক থেকে গাঢ়ত্বের উপরিউক্ত তিনটি এককের মধ্যে সম্পর্ক জানা যায়। আমরা জানি: $E=\frac{f \text{ বা } m}{n}$ বা $n\times E=f$ বা m

যেখানে E=দ্রাবের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f=গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব, m=গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব এবং n=দ্রাবের সংকেত-এককে কার্যকরী অংশের মোট যোজ্যতা বা এক মোল সংকেত-এককের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ইলেকট্রনের মোল-সংখ্যা। এখন এই দ্রাবের কোনো দ্রবণের মোলারিটি যদি xM হয় এবং নরম্যালিটি যদি yN হয়, তাহলে,

ঐ দ্রাবের এক লিটার xM দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ$=x\times m$

আবার, দ্রাবটির এক লিটার yN দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ$=y\times E$

কিন্তু দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ নির্দিষ্ট যদিও দ্রবণের মোলরিটি এবং নরম্যালিটি ভিন্ন, তাই,

$x\times m=y\times E$ বা $x\times n\times E=y\times E \quad \therefore \quad x\times n=y$

অর্থাৎ, দ্রবণের মোলারিটি×দ্রাবের সংকেত-এককের কার্যকরী অংশের মোট যোজ্যতা=দ্রবণের নরম্যালিটি।

অতএব, দ্রবণের ফরম্যালিটি×দ্রাবের সংকেত-এককের কার্যকরী অংশের মোট যোজ্যতা=দ্রবণের নরম্যালিটি।

যেমন, 1 লিটার H_2SO_4 দ্রবণে 98·072g (এক গ্রাম-আণবিক গুরুত্ব) H_2SO_4 দ্রবীভূত থাকলে দ্রবণটির মোলারিটি=1

H_2SO_4-এর কার্যকরী অংশ হল দুইটি H-পরমাণু। H_2SO_4-এ H-পরমাণুর মোট যোজ্যতা, $n=2$। সুতরাং, H_2SO_4-এর উক্ত দ্রবণের

নরম্যালিটি=মোলারিটি×2=1×2 বা 2

আবার, $N=\frac{w}{V\times E}$ এখানে $w=98{\cdot}072g$ $E=49{\cdot}036g$ এবং, $V=1$

$$\therefore \quad N=\frac{98{\cdot}072g}{49{\cdot}036g} \text{ বা, } 2$$

পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত কতকগুলি গাঢ় (Concentrated) বিকারাকর গাঢ়ত্ব

দ্রবণের নাম	N	M
1. অ্যাসিটিক অ্যাসিড, গ্ল্যাসিয়াল	17·4	17·4
2. অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ	14·8	14·8
3. হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড (36%)	12·2	12·2
4. সালফিউরিক অ্যাসিড (95%)	35·8	17·9
5. ফসফরিক অ্যাসিড (85%)	44·4	14·8
6. নাইট্রিক অ্যাসিড (70%)	15·7	15·7

6.2 নং ছক

দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক : কোনো দ্রাবের দ্রবণে জল মিশিয়ে দিলে দ্রবণের আয়তন বাড়ে কিন্তু ওজন / আয়তন অনুপাত অর্থাৎ গাঢ়ত্ব কমে। অবশ্য জল মেশানোর আগে ঐ দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ যত ছিল জল মেশানোর পরেও দ্রাবের পরিমাণ তাই থাকে।

ধরা যাক E গ্রাম-তুল্যাঙ্কসম্পন্ন কোনো দ্রাবের V_1 লিটার দ্রবণের গাঢ়ত্ব x N। এখন এই দ্রবণে জল মিশিয়ে V_2 লিটার করা হল এবং দ্রবণের গাঢ়ত্ব ধরা যাক yN হল।

এখন V_1 লিটার x N দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ $= x \times E \times V_1$

আবার, V_2 লিটার y N দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ $= y \times E \times V_2$

কিন্তু $x \times E \times V_1 = y \times E \times V_2$ বা $x \times V_1 = y \times V_2$

∴ **আগের গাঢ়ত্ব × আগের আয়তন = নতুন গাঢ়ত্ব × নতুন আয়তন**

অর্থাৎ, $N_1 V_1 = N_2 V_2$

বা, $M_1 V_1 = M_2 V_2$

বা, $F_1 V_1 = F_2 V_2$

আবার, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{y}{x}$ বা, $V_1 \propto \frac{1}{x}$ এবং $V_2 \propto \frac{1}{y}$

অর্থাৎ, **দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও দ্রবণের আয়তন পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিক।**

তাই, Vl xN দ্রবণ $= (V \times x)l$ N দ্রবণ

$= 1l$ $(x \times V)$ N দ্রবণ

$20ml$ 0·5N দ্রবণ $=10ml$ N দ্রবণ $=1\ ml$ 10N দ্রবণ

$20\ ml$ 2N দ্রবণ $=40ml$ N দ্রবণ $=1\ ml$ 40N দ্রবণ

অনুরূপে, Vl yM দ্রবণ $=(V\times y)l$ M দ্রবণ $=1l\ (V\times y)$M দ্রবণ

$250\ ml$ 0·1 M দ্রবণ $=25\ ml$ M দ্রবণ $=1\ ml$, 25M দ্রবণ

6.13 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ $1l$ 3·5N দ্রবণে HCl-এর গ্রাম-এককে পরিমাণ নির্ণয় কর।

(a) **সমাধানের পথ ঃ** $w=N\times E\times V$, w=HCl-এর গ্রাম-এককে পরিমাণ, N=নরম্যালিটি, E=গ্রাম-তুল্যাঙ্ক এবং V=দ্রবণের লিটার-সংখ্যা।

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** N=3·5, E=36·461g এবং $V=1l$

$\therefore\ w=3{\cdot}5\times36{\cdot}461\times1$ বা, 127·6135g

6.14 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ $250ml$ 0·5N KOH-এর দ্রবণে কত গ্রাম KOH আছে ?

(a) **সমাধানের পথ ঃ** $w=N\times E\times V$, প্রশ্নানুসারে N=0·5,

$V=\frac{250}{1000}$ বা $0{\cdot}25l$ এবং KOH-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক (E)=56·10g

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** প্রদত্ত দ্রবণে KOH-এর গ্রাম-এককে পরিমাণ $=0{\cdot}5\times56{\cdot}10\times0{\cdot}25$ বা, 7·0125g

6.15 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 10g Na_2CO_3 $500ml$ Na_2CO_3-এর দ্রবণে আছে। দ্রবণের (i) নরম্যালিটি ও (ii) ফরম্যালিটি নির্ণয় কর।

(a) **সমাধানের পথ ঃ** (i) $N=\frac{w}{E\times V}$ (ii) $F=\frac{w}{f\times V}$ বা $F=\frac{N}{n}$

যেখানে N=নরম্যালিটি, F=ফরম্যালিটি, w=Na_2CO_3-এর গ্রাম-এককে পরিমাণ, E=Na_2CO_3-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, f=Na_2CO_3-এর গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব, V=দ্রবণের লিটার-সংখ্যা এবং n=Na_2CO_3-এর কার্যকরী অংশের মোট যোজ্যতা।

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** w=10g, f=105·99g, E=52·996g

V=500 ml বা $0{\cdot}5l$ ও n=2 (সোডিয়ামের মোট যোজ্যতা)

(i) $\therefore\ N=\frac{10}{52{\cdot}99\times0{\cdot}5}$ বা 0·38 (প্রায়)

(ii) $F=\frac{10}{105{\cdot}99\times0{\cdot}5}$ বা, 0·19 (প্রায়)

অন্যভাবে, $F=\frac{N}{n}$ বলে $F=\frac{0{\cdot}38}{2}$ বা 0·19

সুতরাং, প্রদত্ত দ্রবণের গাঢ়ত্ব 0·38 N বা 0·19F

6.16 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ H_2SO_4-এর $2l$ $\frac{N}{10}$ দ্রবণে 9·806g H_2SO_4 আছে। (i) H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত ? (ii) দ্রবণের মোলারিটি কত ?

সমাধান ঃ (i) $E=\frac{w}{N\times V}$, এখানে w=9.8705g, N=0·1 এবং V=2

$$\therefore \quad E=\frac{9{\cdot}806g}{0{\cdot}1\times 2} \text{ বা } 49{\cdot}03g$$

(ii) $M=\frac{N}{n}$, এখানে N=0·1 এবং n=2, কারণ 1 মোল H_2SO_4 2 মোল H^+ আয়ন দান করতে পারে। $\therefore M=\frac{0{\cdot}1}{2}$, বা 0·05

H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক=49·03g এবং দ্রবণের মোলারিটি=0·05M

6.17 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 3·997g NaOH 0·5l NaOH-এর দ্রবণে আছে। দ্রবণটিতে 250 ml জল মিশিয়ে দেওয়া হল। দ্রবণটির এখন নরম্যালিটি কত হল ?

সমাধান ঃ $N_1=\frac{w}{E\times V_1}$ এবং $N_2=\frac{w}{E\times V_2}$ বা, $N_2=\frac{N_1\times V_1}{V_2}$

আবার, $F_2=\frac{N_2}{n}$, যেখানে N_1=পুরানো দ্রবণের নরম্যালিটি, w=দ্রাবের পরিমাণ, E=NaOH-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক, V_1=পুরানো দ্রবণের লিটার-এককে আয়তন, N_2=নতুন দ্রবণের নরম্যালিটি, V_2=নতুন দ্রবণের লিটার-এককে আয়তন, F_2=নতুন দ্রবণের ফরম্যালিটি এবং n=এক মোল NaOH-এর দ্বারা বর্জিত OH^- আয়নের মোল-সংখ্যা।

$$N_1=\frac{3{\cdot}997}{39{\cdot}97\times 0{\cdot}5} \text{ বা } 0{\cdot}2$$

$$\therefore \quad N_2=\frac{0{\cdot}2\times 0{\cdot}5}{0{\cdot}75} \text{ বা, } \frac{10}{75} \quad \text{অর্থাৎ } 0{\cdot}133$$

NaOH-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক এবং গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব সমান। কারণ, n=1

$$\therefore \quad F_2=0{\cdot}133/1 \text{ বা } 0{\cdot}133$$

সুতরাং, NaOH-এর নতুন দ্রবণের গাঢ়ত্ব=0·133N এবং 0·133F

6.18 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 100ml 0·2MH_2SO_4-এর সঙ্গে 200ml 0·6N H_2SO_4 মেশানো হলে মিশ্রিত দ্রবণটির মোলারিটি কত ?

সমাধান ঃ মিশ্রিত দ্রবণের মোট আয়তন=100ml+200ml বা 0·3l

ধরি মিশ্রিত দ্রবণের মোলারিটি=x

আবার, 100ml বা 0·1l 0·2MH_2SO_4=0·1×0·2l 1M H_2SO_4

অনুরূপে, 200ml বা 0·2l 0·6NH_2SO_4=0·2l 0·3MH_2SO_4
=0·2×0·3l 1MH_2SO_4

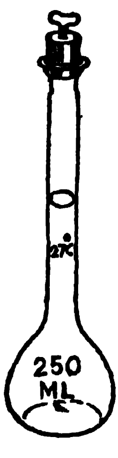
পরিবর্তিত মোলারিটিতে মিশ্রণের গাঢ়ত্ব=1M এবং

আয়তন=0·1×0·2l+0·2×0·3l বা, 0·08l

∴ 0·3×x=0·08×M বা, x=0·08/0·3M

∴ নতুন মোলারিটি=0·266M

প্রমাণ দ্রবণের প্রস্তুতি ঃ যে-কোনো প্রমাণ দ্রবণ সাধারণতঃ আয়তনমিতিয় ফ্লাস্কে (Volumetric flask-এ) প্রস্তুত করা হয়। আয়তন-মিতিয় ফ্লাস্কের আর এক নাম মাপক ফ্লাস্ক (Measuring flask)। বিভিন্ন আয়তনের প্রমাণ দ্রবণ প্রস্তুতির জন্য বিভিন্ন মাপের মাপক ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয়। যেমন, 10ml, 25ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, ইত্যাদি। উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে তরল পদার্থের আয়তন পরিবর্তিত হয় বলে ফ্লাস্কের ধারণ ক্ষমতা ও যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এই ধারণ ক্ষমতা মাপা হয়েছে উভয় তথ্যই ফ্লাস্কের গায়ে লেখা থাকে। সাধারণতঃ শীতপ্রধান দেশে 20°C বা 25°C উষ্ণতায় এবং গ্রীষ্মপ্রধান দেশে 27°C উষ্ণতায় যে-কোনো আয়তন মাপক যন্ত্রের (তরল পদার্থের জন্য) ধারণ ক্ষমতা নির্দিষ্ট করা হয়। 6.1 নং চিত্রে এইরূপ একটি মাপক ফ্লাস্ক দেখানো হয়েছে। ফ্লাস্কটির সরু অংশের বেড় জুড়ে একটি দাগ থাকে। এই দাগ পর্যন্ত দ্রবণ তৈরী করলে তা ফ্লাস্কের ধারণ ক্ষমতার সমান হয়। যে-পদার্থ বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় এবং তা যদি জলীয় দ্রবণে অন্য কোনো পদার্থে পরিণত না হয় তাহলে পদার্থটির নির্দিষ্ট পরিমাণ রাসায়নিক তুলাদণ্ডে ওজন করে মাপক ফ্লাস্কে নেওয়া হয়। এখন মাপক ফ্লাস্কে জল মিশিয়ে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত দ্রবণ তৈরী করা হয়।



6.1 নং চিত্র

যেমন, 250ml $\frac{N}{10}$ অক্সালিক অ্যাসিডের প্রমাণ দ্রবণ তৈরী করতে হলে 0.25×0·1×63g (অক্সালিক অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক—63g) বা, 1·575g অক্সালিক অ্যাসিড 250 m*l* মাপক ফ্লাস্কে নিয়ে জলে দ্রবীভূত করতে হয়। কিন্তু নির্ভুলভাবে এই পরিমাণ অক্সালিক অ্যাসিড ওজন করে নেওয়া অসম্ভব না হলেও সময় সাপেক্ষ। তাই সাধারণতঃ 1·575g-এর কাছাকাছি যে-কোনো পরিমাণের অক্সালিক অ্যাসিড ওজন করে নেওয়া হয়। ধরা যাক, 1·701g অক্সালিক অ্যাসিড ওজন করে নেওয়া হয়েছে এবং 250ml আয়তনের জলীয় দ্রবণ তৈরী করা হয়েছে। অতএব, এই দ্রবণের নরম্যালিটি এককে গাঢ়ত্ব ঃ

$$\left(\frac{1\cdot701}{1\cdot575}\right)\frac{N}{10} \text{ বা } (1\cdot08)\ \frac{N}{10}$$

$\frac{N}{10}$ এর সহগটি (1·08)-কে উক্ত $\frac{N}{10}$ দ্রবণের **ফ্যাকটার** বলে।

$$\text{সুতরাং, ফ্যাকটার} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের দ্রবণে গ্রাম-এককে দ্রাবের পরিমাণ}}{\text{গ্রাম-এককে দ্রাবের প্রয়োজনীয় পরিমাণ}}$$

সালফিউরিক অ্যাসিড ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রমাণ দ্রবণ উপরি-উক্ত উপায়ে তৈরী করা যায় না। বস্তুতঃ যে অ্যাসিড বা ক্ষারক বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় না বা জলীয় দ্রবণে অন্য পদার্থে পরিণত হয় তার প্রমাণ দ্রবণ তৈরী করতে হলে স্থূলভাবে নির্দিষ্ট পরিমাণের দ্রাব ওজন করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এই দ্রবণের সঙ্গে অন্য একটি ক্ষারক বা অ্যাসিডের প্রমাণ দ্রবণের প্রশমন বিক্রিয়া সম্পূর্ণ করে অজ্ঞাত গাঢ়ত্বের অ্যাসিড বা ক্ষারক দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্দিষ্ট করা হয়ে থাকে (6.9 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। প্রত্যক্ষ ওজনের দ্বারা সোডিয়াম কার্বনেটের প্রমাণ দ্রবণ প্রস্তুত করা যায়, কিন্তু NaOH, KOH ইত্যাদির তা যায় না। [বিঃ দ্রঃ 6.27 নং গাণিতিক উদাহরণ।]

6.9 প্রশমন বিক্রিয়া (Neutralisation reaction) ঃ অ্যাসিডের সঙ্গে ক্ষারকের বিক্রিয়ায় লবণ ও জল উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাটিকে প্রশমন বিক্রিয়া বলে। এই বিক্রিয়ায় অ্যাসিডের প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন পরমাণু এবং ক্ষারকের প্রতিস্থাপনযোগ্য অক্সিজেন পরমাণু বা, —OH মূলক পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে লবণ ও জল উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটিতে তাপ নির্গত হয়। অর্থাৎ, প্রশমন বিক্রিয়া একটি তাপোদ্গারক বিক্রিয়া। সাধারণতঃ অ্যাসিড ও ক্ষারকের জলীয় দ্রবণ ধীরে ধীরে মিশিয়ে এই বিক্রিয়া সম্পন্ন করা হয়।

অ্যাসিডগুলি জলে আয়নিত হয় এবং H^+ আয়ন তৈরী করে। ক্ষারকগুলি জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয়ে OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। অ্যাসিডের H^+ আয়ন ও ক্ষারকের OH^- আয়ন সংযুক্ত হয়ে জল অণু গঠন করে। অপর পক্ষে অ্যাসিডের অ্যানায়ন এবং ক্ষারকের ক্যাটায়ন পরস্পরে যুক্ত হয়ে আয়ন যুগল বা অবিয়োজিত অণু হিসাবে লবণ তৈরী করে। যেমন, NaOH ও HCl-এর প্রশমণ বিক্রিয়ায় Na^+Cl^- ও জল তৈরী হয়।

$$HCl = H^+ + Cl^- ; \; NaOH = OH^- + Na^+$$
$$HCl + NaOH = H_2O + Na^+Cl^- + \text{তাপশক্তি}$$

সুতরাং, যে অ্যাসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায় প্রোটনের (H^+ আয়নের) বিনিময়ের দ্বারা লবণ ও জল উৎপন্ন হয় তাকেই **প্রশমন বিক্রিয়া বলে।** যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার মতোই অ্যাসিড ও ক্ষারকের জলীয় দ্রবণ সমান তুল্যাঙ্ক-সংখ্যায় যখন মেশানো হয় তখনই প্রশমন বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়। অর্থাৎ, অ্যাসিডের অ্যাসিড-ধর্ম ও ক্ষারকের ক্ষারক-ধর্ম বিনষ্ট হয়। তবে এই বিক্রিয়ায় অ্যাসিড ও ক্ষারক পরস্পরের দ্বারা প্রশমিত হলেও প্রশমনের পরে দ্রবণটি প্রশম-দ্রবণও হতে পারে আবার অ্যাসিড বা ক্ষারক—ধর্মসম্পন্নও হতে পারে। তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের প্রশমন বিক্রিয়ায় সাধারণতঃ প্রশম দ্রবণ তৈরী হয়। কিন্তু তীব্র অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারকের বিক্রিয়ায় বা মৃদু অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন দ্রবণ যথাক্রমে অ্যাসিড-ধর্ম-সম্পন্ন বা ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হয়। উভয় ক্ষেত্রে গঠিত লবণগুলির আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে বলে প্রশমনের পরেও জলীয় দ্রবণ প্রশম-দ্রবণ হিসাবে থাকে না।

প্রশমন বিক্রিয়ার দ্বারা অ্যাসিড ও ক্ষারকের **গাঢ়ত্ব নির্ণয়** করা যায়। অ্যাসিড ও ক্ষারকের গাঢ়ত্ব নির্ণয়, আবার, রাসায়নিক বিশ্লেষণের (Chemical analysis-এর) অঙ্গ বিশেষ। এই কারণে প্রশমন বিক্রিয়া রসায়নে বিশেষ স্থান দখল করেছে।

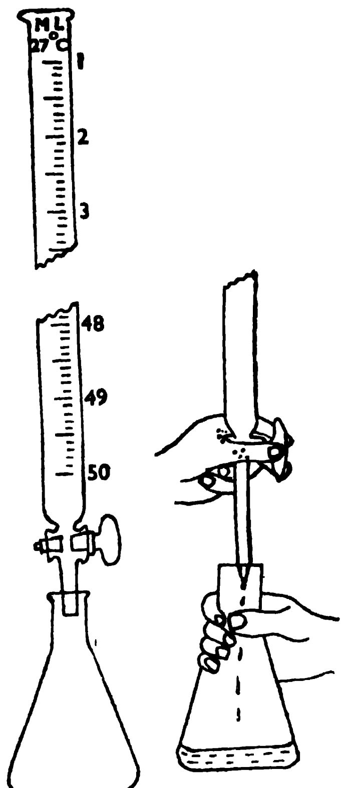
যে-পদ্ধতিতে প্রমাণ অ্যাসিড-দ্রবণের সাহায্যে প্রশমন বিক্রিয়ার দ্বারা কোনো ক্ষারক-দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা হয় তাকে বলে **অ্যাসিডমিতি** (Acidimetry) এবং যে-পদ্ধতিতে প্রমাণ ক্ষারক-দ্রবণের সাহায্যে প্রশমন বিক্রিয়ার দ্বারা কোনো অ্যাসিড-দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা হয় তাকে বলে **ক্ষারমিতি** (Alkalimetry)। সুতরাং, প্রশমন বিক্রিয়াই অ্যাসিডমিতি

ও ক্ষারমিতির ভিত্তি। নীচে অ্যাসিডমিতি ও ক্ষারমিতির পদ্ধতিসম্পর্কে আলোচনা রাখা হল।

অ্যাসিডমিতিয়-ক্ষারমিতিয় পরীক্ষার জন্য তিন রকমের অংশাঙ্কিত কাচের যন্ত্র বিশেষভাবে উল্লেখ্য। যথা: (i) মাপক ফ্লাস্ক—প্রমাণ দ্রবণ প্রস্তুতির জন্য, (ii) পিপেট (Pipette)—কম অথচ নির্দিষ্ট আয়তনের দ্রবণ পরিমাপের জন্য এবং (iii) বুরেট (Burette)—ফোঁটায় ফোঁটায় দ্রবণ মেশানোর জন্য এবং সেই দ্রবণের আয়তন সূক্ষ্ম ও নির্ভুলভাবে পরিমাপের জন্য। এর আগে মাপক ফ্লাস্ক ও প্রমাণ দ্রবণ প্রস্তুতির পদ্ধতি আলোচিত



6.2 নং চিত্র



6.3 নং চিত্র

হয়েছে। এই অংশে বুরেট ও পিপেট সম্পর্কে কিছু তথ্য পরিবেশন করা হবে।

6.2 নং চিত্রে পিপেটের ছবি আঁকা হয়েছে। বিভিন্ন ধারণ ক্ষমতার

পিপেট ব্যবহৃত হয়। যেমন, 1 ml, 2ml, 5ml, 10ml, 25ml ইত্যাদি। মাপক ফ্লাস্কের মতোই পিপেটের গায়ে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এটির ধারণ ক্ষমতা কত তা লেখা থাকে। গোল দাগটি পর্যন্ত দ্রবণ নিলে তা পিপেটের ধারণ ক্ষমতার সমান হয়।

6.3 নং চিত্রে একটি বুরেট আঁকা হয়েছে। 10ml, 25ml, 50ml প্রভৃতি বিভিন্ন ধারণ ক্ষমতার বুরেটের ব্যবহার আছে। সাধারণ প্রতি বুরেটের প্রতিটি মিলিলিটারের অংশ আবার দশ ভাগে ভাগ করা থাকে। অর্থাৎ, বুরেটের সাহায্যে 0·1ml পর্যন্ত মাপা যায়।

কোনো অ্যাসিড-দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করতে হলে একটি ক্ষারকের প্রমাণ দ্রবণ তৈরী করতে হয়। আবার কোনো ক্ষারক দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করতে হলে প্রমাণ অ্যাসিড-দ্রবণ তৈরী করতে হয়। এখন, ক্ষারক-দ্রবণের 25ml একটি পিপেটে করে তুলে একটি কোনিক্যাল ফ্লাস্কে (Conical flask-এ) নেওয়া হয় এবং বুরেট থেকে ফোঁটায় ফোঁটায় অ্যাসিড-দ্রবণ ফ্ল্যাস্কটিতে যুক্ত করা হয় এবং ফ্লাস্কের দ্রবণটিকে যথেষ্ট আলোড়িত করা হয়। প্রশমন বিক্রিয়া সম্পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত অ্যাসিড মেশানোর কাজটি চালিয়ে যেতে হয়। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পূর্ণ করার জন্য একটি নির্দিষ্ট আয়তনের দ্রবণে ফোঁটায় ফোঁটায় অন্য দ্রবণ বুরেট থেকে মিশিয়ে কোনো দ্রবণের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করার পদ্ধতিকে **ট্রাইট্রেশন** (Titration) বলে। প্রশমন বিক্রিয়া যে-মুহূর্তে সম্পূর্ণ হয় তাকে **প্রশমন ক্ষণ** (Neutralisation point) **বলে**। প্রশমন বিক্রিয়া ও অন্যান্য রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ঐ মুহূর্তটিকে **অন্তিম ক্ষণ** (End point) বা **তুল্যাঙ্ক ক্ষণ** (Equivalence point) বলাও যায়।

প্রশমন বিক্রিয়ার মতোই যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার অন্তিম-ক্ষণ নির্দিষ্ট করা সাধারণভাবে সম্ভব নয়। তাই টাইট্রেশন শুরু করার আগেই কোনিক্যাল ফ্লাস্কে একটি বিকারক (Reagent) মিশিয়ে নিতে হয়। বেশীর ভাগ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে এই বিকারক অন্তিম ক্ষণের ঠিক পরের মুহূর্তে দ্রবণের বর্ণের পরিবর্তন ঘটায়। দ্রবণের বর্ণের পরিবর্তন সহজেই চোখে পড়ে। ফলে অন্তিম ক্ষণটি বুঝতে কোনো অসুবিধাই হয় না। যে-বিকারক কোনো বিক্রিয়ার রাসায়নিক অবস্থার বা অন্তিম ক্ষণের নির্দেশ দেয় তাকে **নির্দেশক** (Indicator) **বলে**। প্রশমন বিক্রিয়ার অন্তিম ক্ষণ যে-পদার্থ নির্দিষ্ট করে তাকে **প্রশমন-নির্দেশক** বা **অ্যাসিড-**

ক্ষারক নির্দেশক বলে। অ্যাসিড-ক্ষারক নির্দেশকগুলি বেশীর ভাগই জৈব যৌগ। অ্যাসিড-দ্রবণে এগুলির যে-ধরনের বর্ণ হয় ক্ষারক দ্রবণে সম্পূর্ণ অন্য বর্ণ হয় এবং দুইটি দ্রবণের দুইরকম বর্ণের তফাৎ খুব সহজেই ধরা যায়। নীচে কতকগুলি অ্যাসিড-ক্ষারক নির্দেশকের নাম এবং অ্যাসিড ও ক্ষারক-দ্রবণে এগুলির বর্ণ লিপিবদ্ধ করা হল :

নির্দেশক	প্রশম-দ্রবণে বর্ণ	অ্যাসিড-দ্রবণে বর্ণ	ক্ষারক-দ্রবণে বর্ণ
1. লিটমাস	বেগুনী	লাল	নীল
2. মিথাইল অরেঞ্জ	কমলা	লালচে বা গোলাপী	হলুদ
3. ফিনলথ্যালিন	বর্ণহীন	বর্ণহীন	লালচে বেগুনী
4 মিথাইল রেড	হলুদ	লাল	হলুদ

কোনো অ্যাসিড বা ক্ষারক-দ্রবণে ক্ষারক বা অ্যাসিড-দ্রবণ যুক্ত করার ফলে যদি নির্দেশকের জন্য দ্রবণের বর্ণ পরিবর্তিত হয় তাহলে বুঝতে হবে অ্যাসিডিক অথবা ক্ষারকীয় অবস্থা থেকে দ্রবণটি ক্ষারকীয় অথবা অ্যাসিডিক অবস্থায় এসেছে। তবে যে কোনো প্রশমন বিক্রিয়াতে যে-কোনো নির্দেশক ব্যবহার করা চলে না। অ্যাসিড ও ক্ষারকের তীব্রতার উপর নির্ভর করে নির্দেশক পছন্দ করতে হয়। কারণ মৃদু অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষণের ফলে অন্তিম ক্ষণের পর ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন দ্রবণ তৈরী হয় এবং মৃদু ক্ষারক ও তীব্র অ্যাসিডের ক্ষেত্রে তা অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হয়। কোনো কোনো নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন ঘটে প্রশম-দ্রবণ উৎপন্ন হওয়ার পরেই। আবার, কোনো কোনো নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন ক্ষারক-দ্রবণে বা অ্যাসিড-দ্রবণে হয়। কোনো প্রশমন বিক্রিয়ায় অন্তিম ক্ষণের পর যদি দ্রবণটি ক্ষারকীয় হয় তাহলে যে নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন ক্ষারকীয় দ্রবণে হয় সেই নির্দেশক ঐ বিক্রিয়ায় ব্যবহার করতে হয়। পক্ষান্তরে, সম্পূর্ণ প্রশমনের পর দ্রবণ যদি অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হয় তাহলে যে নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন অ্যাসিড মাধ্যমেই ঘটে তাই ব্যবহার করা হয়। নীচে কয়েকটি সাধারণ নির্দেশকের ব্যবহারের একটি তালিকা দেওয়া হল :

(1) তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায়—মিথাইল অরেঞ্জ, ফিনলথ্যালিন প্রভৃতি যে-কোনো নির্দেশক।

(2) তীব্র অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারকের বিক্রিয়ায়—মিথাইল অরেঞ্জ ও মিথাইল রেড।

(3) মৃদু অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায়—ফিনলথ্যালিন ও থাইমল ব্লু।

(4) মৃদু অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষারকের বিক্রিয়ায়—কোনো নির্দেশকই ব্যবহার করা চলে না।

অ্যাসিডমিতিয় ও ক্ষারমিতিয় গণনা (Calculations involving acidimetry and alkalimetry) ঃ তুল্যাঙ্ক অনুপাতে অ্যাসিড ও ক্ষারক বিক্রিয়া করে উভয়েই প্রশমিত হয়। অন্যভাবে বলা যায় যে, অ্যাসিড ও ক্ষারক সমান গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যায় বিক্রিয়া করে প্রশমন বিক্রিয়া সম্পূর্ণ করে। যদি কোনো প্রশমন বিক্রিয়ায় অ্যাসিড-দ্রবণের নরম্যালিটি N_1 এবং আয়তন $V_1 l$ হয় আর ক্ষারক-দ্রবণের নরম্যালিটি ও আয়তন N_2 ও $V_2 l$ হয় তাহলে, বিক্রিয়ক অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যা $= N_1 \times V_1$

অনুরূপে, বিক্রিয়ক ক্ষারকের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যা $= N_2 \times V_2$

এখন, প্রশমনের সর্তানুসারে, অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যা = ক্ষারকের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক-সংখ্যা। $\therefore \quad N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$

অর্থাৎ, **অ্যাসিডের নরম্যালিটি-এককে গাঢ়ত্ব × আয়তন = ক্ষারকের নরম্যালিটি-এককে গাঢ়ত্ব × আয়তন।**

এখন N_1, N_2, V_1 ও V_2 এই চারটি চল রাশির যে-কোনো তিনটির মান জানা থাকলে চতুর্থটির মান সহজেই নির্ণয় করা যায়। টাইট্রেশনের দ্বারা আমরা উভয় পদার্থের প্রশমনের জন্য প্রয়োজনীয় আয়তন জানতে পারি এবং অজ্ঞাত গাঢ়ত্বের দ্রবণটির গাঢ়ত্বও জানতে পারি।

আবার, $V_1 = V_2$ হলে $N_1 = N_2$ বা, $N_1 = N_2$ হলে $V_1 = V_2$ হবেই।

সুতরাং, বলা যায় যে, **অ্যাসিড ও ক্ষারক-দ্রবণ সমগাঢ়ত্বের হলে তারা সম আয়তনে প্রশমন বিক্রিয়া সম্পূর্ণ করে।**

দ্রবণের গাঢ়ত্বের একক হিসাবে মোলারিটি ব্যবহার করলে বিক্রিয়ার পূর্ণ সমীকরণ লিখে তা থেকে অ্যাসিডমিতিয়-ক্ষারমিতিয় গণনা করতে হয়।

6.19 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 500cc 2N H_2SO_4 তৈরী করতে কত গ্রাম সালফিউরিক অ্যাসিড দরকার হয়?

সমাধান : সালফিউরিক অ্যাসিডের গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব$=98{\cdot}06g=$ 1 মোল H_2SO_4। আবার, 1 মোল H_2SO_4 2 মোল H^+ উৎপন্ন করে।

$\therefore$ H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক$=\frac{98{\cdot}06}{2}$ বা $49{\cdot}03g$

এখন, $w=N\times E\times V$

$=2\times 49{\cdot}03\times 0{\cdot}5g$ বা, $49{\cdot}03g$

6.20 নং গাণিতিক উদাহরণ : 100 ml 3N HCl-কে 1·5N HCl-এ পরিণত করতে কত ml জল মেশাতে হবে ?

সমাধান : ধরি 1·5N HCl দ্রবণের আয়তন Vml হবে, সুতরাং,

$$100\text{ ml}\times 3N=V\times 1{\cdot}5N$$

$\therefore$ $V=\frac{100\times 3N}{1{\cdot}5N}$ ml বা, $\frac{300}{1{\cdot}5}$ ml অর্থাৎ, $V=200$ ml

কাজেই, 100ml 3N HCl দ্রবণে $(200-100)$ বা, 100 ml জল মেশালে তবে দ্রবণটি 1·5N গাঢ়ত্বের হবে।

6.21 নং গাণিতিক উদাহরণ : 10N HCl দ্রবণের কত মিলিলিটার 2N NaOH দ্রবণের 50 ml-কে প্রশমিত করে ?

(a) সমাধানের পথ : $N_1\times V_1=N_2\times V_2$ যেখানে $N_1=$অ্যাসিডের নরম্যালিটি, $V_1=$অ্যাসিডের ml-এককে আয়তন, $N_2=$ক্ষারের নরম্যালিটি $V_2=$ক্ষারের আয়তন।

(b) গাণিতিক সমাধান : $N_1=10$, $V_1=?$ $N_2=2N$ এবং $V_2=50$ ml

$\therefore$ $10N\times V_1=2N\times 50$ বা, $V_1=\frac{2\times 50}{10}$ ml বা 10 ml

6.22 নং গাণিতিক উদাহরণ : 500 ml 1·2N HCl-এর সঙ্গে 720 ml 0·25N NaOH মেশালে মিশ্রিত দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হবে না ক্ষারক-ধর্মসম্পন্ন হবে। মিশ্রিত দ্রবণের অ্যাসিড বা ক্ষারক হিসাবে গাঢ়ত্ব কত হবে ?

(a) সমাধানের পথ : উভয় দ্রবণকেই সমান নরম্যালিটিতে আনতে হবে। ফলে দ্রবণ দুইটির নতুন আয়তন জানা যাবে। এই দুইটি আয়তনের মধ্যে যে দ্রবণের আয়তন বেশী মিশ্রিত দ্রবণটির ধর্ম সেই দ্রবণের মতো হবে। এখন মিশ্রিত দ্রবণের আয়তন এবং নরম্যালিটির গুণফল=উদ্বৃত্ত দ্রবণের

আয়তন ও নরম্যালিটির গুণফল ধরে মিশ্রিত দ্রবণের নরম্যালিটি নির্ণয় করতে হবে।

(b) গাণিতিক সমাধান : 500 ml 1·2N HCl=600 ml N HCl

আবার, 720 ml 0·25N NaOH=180 ml N NaOH

কাজেই, 180 ml N NaOH দ্রবণ 180 ml N HCl দ্রবণকে প্রশমিত করে।

অতএব, (600−180) ml 420 ml N HCl উদ্বৃত্ত থাকে। সুতরাং, মিশ্রণটি অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন হবে।

ধরি মিশ্রিত দ্রবণের নরম্যালিটি=x,
মিশ্রণের আয়তন হল (500+720) ml বা 1220 ml

কাজেই, $1220 \times x = 420 \times 1N \quad \therefore \quad x = \frac{420}{1220}$ N বা 0·344N

6.23 নং গাণিতিক উদাহরণ : 40cc NaOH দ্রবণ 41cc N H_2SO_4-এর দ্বারা প্রশমিত হয়। NaOH দ্রবণের গাঢ়ত্ব গ্রাম/লিটারে নির্ণয় কর।

(a) সমাধানের পথ : $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$, যেখানে N_1 ও N_2 যথাক্রমে অ্যাসিড ও ক্ষারকের নরম্যালিটি এবং V_1 ও V_2 যথাক্রমে অ্যাসিড ও ক্ষারকের আয়তন। আবার, গ্রাম/লিটার $(g/l) = N \times E$

(b) গাণিতিক সমাধান : $41 \times 1N = 40 \times N_2$ বা, $N_2 = \frac{41}{40}N$

$\therefore$ NaOH দ্রবণের $g/l = 39{\cdot}99 \times \frac{41}{40}$ বা 41 (প্রায়)

6.24 নং গাণিতিক উদাহরণ : 50 ml 3·50 M H_2SO_4-এ কত জল মেশালে তা 2·0M H_2SO_4 দ্রবণে পরিণত হবে? মোল-এককে তা নির্ণয় কর।

(a) সমাধানের পথ : 50 ml 3·50M H_2SO_4-এ ধরি x মোল H_2SO_4 আছে। এখন জল মিশ্রিত অ্যাসিড-দ্রবণের আয়তন হল,

$$\frac{x \text{ মোল}}{2{\cdot}00 \text{ মোল/লিটার}} = \frac{x}{2}\, l \text{ বা } \frac{1000x}{2}\text{ml}$$

$\therefore$ মিশ্রিত জলের পরিমাণ=(500x−50) ml

(b) গাণিতিক সমাধান : 50ml=0·05l

$\therefore$ 0·05 l 3·5 M H_2SO_4 দ্রবণে H_2SO_4-এর পরিমাণ=0·05×3·5 মোল বা 0·175 মোল H_2SO_4

∴ মিশ্রিত জলের পরিমাণ $=(500\times0{\cdot}175-50)$ ml

$=(87{\cdot}5-50)$ বা $37{\cdot}5$ ml

6.25 নং গাণিতিক উদাহরণ : 50 ml 1N H_2SO_4 এবং 75·0 ml 0·5N H_2SO_4 মেশালে মিশ্রণের নরম্যালিটি কত হবে মোল-এককে নির্ণয় কর।

(a) সমাধানের পথ : 50 ml 1N H_2SO_4 এবং 75 ml 0·5N H_2SO_4 সমান কত মোল H_2SO_4 তা নির্ণয় করতে হবে। এই দুইটির যোগফল যত মোল H_2SO_4 হয় তাই (50+75) ml দ্রবণে আছে। এখন যদি ধরা যায় 125 ml দ্রবণে মোট H_2SO_4-এর মোল-সংখ্যা=x তাহলে, 1 লিটার দ্রবণে 8x মোল H_2SO_4 থাকবে। এটিই দ্রবণের মোলারিটি। 1 মোল H_2SO_4 থেকে 2 মোল প্রোটন পাওয়া যায়।

∴ দ্রবণের নরম্যালিটি হবে মোলারিটি $\times2$

(b) গাণিতিক সমাধান : 50 $ml=0{\cdot}05\ l$

$0{\cdot}05\ l$ 1N H_2SO_4-এ $0{\cdot}05\times\frac{1}{2}$ মোল H_2SO_4 বা $0{\cdot}025$ মোল H_2SO_4 আছে ; আবার, 75 $ml=0{\cdot}075\ l$

$0{\cdot}075\ l$ 0·5NH_2SO_4-এ $0{\cdot}075\times\frac{0{\cdot}5}{2}$ মোল H_2SO_4 আছে বা 0·01875 মোল H_2SO_4 আছে।

∴ 125 ml H_2SO_4 দ্রবণে $(0{\cdot}025+0{\cdot}01875)$ মোল H_2SO_4 আছে

সুতরাং, দ্রবণের মোলারিটি $=8\times0{\cdot}044$ বা 0·352M

কাজেই, দ্রবণের নরম্যালিটি $=0{\cdot}704$N

6.26 নং গাণিতিক উদাহরণ : 20 ml 0·025M H_3PO_4 কত ml 0·030M $Ca(OH)_2$ দ্রবণকে প্রশমিত করে তা নির্ণয় কর। মোল-এককে গণনা বাঞ্ছনীয়।

$$20\ ml\ 0{\cdot}025\ M\ H_3PO_4=0{\cdot}02\ l\times\frac{0{\cdot}025\ \text{মোল}}{1l}H_3PO_4$$

$$=0{\cdot}00050\ \text{মোল}\ H_3PO_4$$

এখন, $3Ca(OH)_2+2H_3PO_4=Ca_3(PO_4)_2+6H_2O$

অতএব, 2 মোল H_3PO_4 প্রশমিত করে 3 মোল $Ca(OH)_2$-কে

সুতরাং, 0·0005 মোল H_3PO_4 প্রশমিত করবে $\frac{3}{2}\times0{\cdot}0005$ বা 0·00075 মোল $Ca(OH)_2$-কে

ধরা যাক, 0·00075 মোল $Ca(OH)_2$ আছে xl 0·03 M $Ca(OH)_2$-তে

অতএব, $x = \dfrac{0{\cdot}00075 \text{ মোল}}{0{\cdot}03 \text{ মোল/লিটার}}$

$= \dfrac{0{\cdot}075}{3}\ l$ বা $0{\cdot}025l$ অর্থাৎ 25 ml

6.27 নং গাণিতিক উদাহরণ : $1{\cdot}08\dfrac{N}{10}$ 250 ml HCl দ্রবণকে কিভাবে সঠিক $\dfrac{N}{10}$ HCl দ্রবণে পরিণত করা যায় ?

(a) **সমাধানের পথ :** দ্রবণটির গাঢ়ত্ব $\dfrac{N}{10}$ এর বেশী। সুতরাং, জল মিশিয়ে সঠিক দ্রবণ তৈরী করতে হবে। বস্তুতঃ যে-কোনো দ্রাবের সঠিক N, $\dfrac{N}{2}$, $\dfrac{N}{10}$, M, $\dfrac{M}{100}$ ইত্যাদি যে-কোনো নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বের নির্দিষ্ট আয়তনের সঠিক দ্রবণ তৈরী করতে হলে নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বের জন্য ঐ আয়তনে যতটা দ্রাব প্রয়োজন হয় তার থেকে বেশী দ্রাব মিশিয়ে দ্রবণ তৈরী করতে হয় এবং পরে জল মিশিয়ে নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বে আনতে হয়। সাধারণতঃ বুরেটের সাহায্যে প্রয়োজনীয় জল মেশানো হয়।

(b) **গাণিতিক সমাধান :** ধরি সঠিক $\dfrac{N}{10}$ HCl দ্রবণের আয়তন x ml

$\therefore\ x \times \dfrac{N}{10} = 1{\cdot}08 \times 250 \text{ ml} \times \dfrac{N}{10}$ বা $x = 270{\cdot}00$ ml

সুতরাং, 250ml $1{\cdot}08\dfrac{N}{10}$ HCl দ্রবণে (270−250)ml বা 20ml জল মিশিয়ে দ্রবণটিকে সঠিক $\dfrac{N}{10}$ HCl-এ পরিণত করা যাবে।

6.28 নং গাণিতিক উদাহরণ : পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের কত আয়তনে 40g H_2SO_4 থাকবে ? অ্যাসিডটির আপেক্ষিক গুরুত্ব (আঃ গুঃ) 1·84 এবং এটি 98% বিশুদ্ধ।

সমাধান : আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·84 হওয়ায় 1cc সালফিউরিক অ্যাসিডের ভর 1·84g ; 1cc H_2SO_4-এ বিশুদ্ধ অ্যাসিডের পরিমাণ $= \dfrac{98}{100} \times 1{\cdot}84g = 1{\cdot}80g$

এখন, 1·80g H_2SO_4 পাওয়া যায় 1cc H_2SO_4 থেকে

$\therefore$ 40g H_2SO_4 পাওয়া যায় $\dfrac{1cc}{1{\cdot}80g} \times 40g$ বা 22·2 cc H_2SO_4 থেকে

$$\left[\text{অ্যাসিডের আয়তন} = \frac{\text{গ্রাম-এককে অ্যাসিডের প্রয়োজনীয় পরিমাণ}}{\text{অ্যাসিডের আঃ গুঃ} \times 1cc \text{ অ্যাসিডের বিশুদ্ধতা}}\right]$$

6.29 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 1g সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের মিশ্রণে 25cc N NaOH দিয়ে উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়া গ্যাস তৈরী করা হল। এখন উদ্বৃত্ত NaOH দ্রবণ প্রশমিত করতে 10cc N H_2SO_4-এর প্রয়োজন হয়। মিশ্রণে সোডিয়াম ক্লোরাইডের শতকরা সংযুতি নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ 10cc N H_2SO_4 প্রশমিত করে 10cc N NaOH দ্রবণকে

সুতরাং, উদ্বৃত্ত NaOH দ্রবণের পরিমাণ 10cc N NaOH

অতএব, অ্যামোনিয়া তৈরীর জন্য কাজে লেগেছে (25 – 10)cc N NaOH

15 cc N NaOH = 15 cc N NH_4Cl ; আবার, 15cc N NH_4Cl-এ NH_4Cl-এর পরিমাণ $= 1 \times 53{\cdot}49 \times 0{\cdot}015$ g বা, 0·80235g

$\therefore$ 1g মিশ্রণে NH_4Cl-এর পরিমাণ = 0·80235g

কাজেই, 1g মিশ্রণে NaCl-এর পরিমাণ = (1 – 0·8023) g বা, 0·1977g

বা, 100g মিশ্রণে NaCl-এর পরিমাণ $= 0{\cdot}1977\text{g} \times 100 = 19{\cdot}77$g

$\therefore$ প্রদত্ত মিশ্রণে NaCl-এর শতকরা সংযুতি = 19·77

6.30 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 0·30g কোনো ধাতব অক্সাইড 200 ml $\frac{N}{10}$ H_2SO_4-এ দ্রবীভূত করা হল। উদ্বৃত্ত অ্যাসিড প্রশমিত করতে 51·6 ml 0·095N NaOH-এর প্রয়োজন হয়। ধাতব অক্সাইডের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ 51·6 ml 0·095 N NaOH প্রশমিত করে 51·6 ml 0·095 N H_2SO_4-কে।

আবার, 51·6 ml 0·095 N H_2SO_4

$$= 51{\cdot}6 \times 0{\cdot}095 \text{ ml N } H_2SO_4 = 4{\cdot}9 \text{ ml N } H_2SO_4$$

আবার, 200 ml $\frac{N}{10}$ H_2SO_4 = 20 ml N H_2SO_4

$\therefore$ (20 – 4·9) ml N H_2SO_4 বিক্রিয়া করে (20 – 4·9) ml N ধাতব অক্সাইডের দ্রবণের সঙ্গে।

প্রদত্ত সর্তানুসারে, 15·1 ml N ধাতব অক্সাইডের দ্রবণে 0·30g ধাতব অক্সাইড আছে।

কাজেই, ধাতব অক্সাইডের 1 লিটার N দ্রবণে তার পরিমাণ

$$=\frac{0\cdot30}{15\cdot10}\times1000\text{ g}=\frac{3\times1000}{151}\text{ g বা, }19\cdot87\text{g}$$

আমরা জানি যে-কোনো পদার্থের এক লিটার N দ্রবণে পদার্থটির এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ দ্রবীভূত থাকে। সুতরাং, ধাতব অক্সাইডের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক=19·87g।

∴ অক্সাইডটির নির্ণেয় তুল্যাঙ্ক=19·87

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ ঃ

1. অক্সাইড কাকে বলে। অক্সাইডগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ কর এবং বিভিন্ন শ্রেণীর অক্সাইডের সংজ্ঞার্থ ও ধর্ম বিবৃত কর। এইগুলির প্রস্তুত প্রণালী লিপিবদ্ধ কর।

2. অ্যাসিডের বিভিন্ন ধরনের সংজ্ঞার্থ দাও। এইগুলির সাধারণ ধর্ম বিবৃত কর। বিভিন্ন পদ্ধতিতে অ্যাসিডগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ কর এবং প্রস্তুত প্রণালী বল।

3. ক্ষারকের বিভিন্ন ধরনের সংজ্ঞার্থ দাও। ক্ষারকগুলির ধর্ম আলোচনা কর। এইগুলিকে বিভিন্ন পদ্ধতিতে শ্রেণীবদ্ধ কর। ক্ষারক ও ক্ষারের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

4. লবণগুলির সংজ্ঞার্থ, ধর্ম, শ্রেণী বিভাগ এবং প্রস্তুতি বিবৃত কর।

5. নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর টীকা লেখ ঃ

(i) লবণের আর্দ্রবিশ্লেষণ, (ii) প্রশমনবিক্রিয়া, (iii) অ্যাসিডের তুল্যাঙ্ক, (iv) ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক, (v) লবণের তুল্যাঙ্ক, (vi) দ্রবণের গাঢ়ত্ব, (vii) প্রমাণ দ্রবণ, (viii) অ্যাসিডমিতি, (ix) নির্দেশক, (x) নরম্যালিটি, ফরম্যালিটি ও মোলারিটি।

6. P_2O_5, CO, NO_2, SO_3, ZnO, Al_2O_3, Cr_2O_3, Fe_2O_3 এবং CaO-কে যথাযোগ্য কারণ দেখিয়ে শ্রেণীবদ্ধ কর।

7. সমীকরণ আকারে অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ কর। নিম্নলিখিত বিক্রিয়ায় যে সমস্ত লবণ তৈরী হয় সেগুলি কোন্ শ্রেণীর এবং নাম কি ?

(a) $CaO+SO_3$, (b) $NaOH+H_2SO_4$, (c) $Fe+HCl$, (d) H_2S+KOH, (e) Fe_2O_3+FeO, (f) $NH_4OH+HBr$, (g) $Pb(OH)_2+HCl$

8. নিম্নলিখিত পদার্থগুলি কেন অ্যাসিড তা বল :

(i) HCl, (ii) NH_4^+, (iii) H_2SO_4, (iv) $NaHSO_3$

9. CN^-, Cl^-, $NaOH$, $Fe(OH)_2$ কোন্ শ্রেণীর পদার্থ এবং কেন তা বল।

10. $NaHCO_3$ একটি অ্যাসিড-লবণ, কিন্তু এটির জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয় কেন ?

11. NH_4Cl, $FeCl_3$ এবং $(NH_4)_2SO_4$-এর জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড-ধর্মসম্পন্ন কেন ?

12. HNO_3 একটি তীব্র অ্যাসিড এবং বেঞ্জোয়িক অ্যাসিড একটি মৃদু অ্যাসিড হলে সোডিয়াম নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ এবং সোডিয়াম বেঞ্জোয়েটের জলীয় দ্রবণের ধর্ম অ্যাসিডের মতো হবে না ক্ষারের মতো হবে ?

13. HCN একটি মৃদু অ্যাসিড অথচ HCl একটি তীব্র অ্যাসিড কেন ?

14. $Fe(OH)_3$ একটি ক্ষারক কিন্তু ক্ষার নয় কেন ?

15. হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের যে-কোনো দ্রবণের নরম্যালিটি, মোলারিটি এবং ফরম্যালিটি অভিন্ন হয়। অথচ, H_2SO_4 বা, H_3PO_4-এর নরম্যালিটি এবং ফরম্যালিটি বেশীর ভাগ বিক্রিয়াতে আলাদা হয় কেন ?

16. নরম্যালিটি, ফরম্যালিটি এবং মোলারিটির মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর। 2M H_2SO_4-এর দ্রবণ মানে কত নরম্যাল H_2SO_4-এর দ্রবণ ?

17. কোনো জ্ঞাত গাঢ়ত্বের দ্রবণে জল মেশালে দ্রবণে দ্রাবের পরিমাণ বা দ্রবণের গাঢ়ত্ব কি কমে ? জল মেশানোর আগে দ্রবণের গাঢ়ত্বের সঙ্গে জল মেশানোর পরে দ্রবণের যে-গাঢ়ত্ব হয় তাদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

18. নরম্যালিটি এবং মোলারিটি এককের সুবিধা এবং অসুবিধা লিপিবদ্ধ কর।

19. NH_3-এর জলীয় দ্রবণকে H_2SO_4-এর জলীয় দ্রবণের দ্বারা প্রশমিত করতে হলে কোন্ ধরনের নির্দেশক ব্যবহার করা উচিত তা উদাহরণ সহ বল।

20. $NaOH$ এবং HCN-এর জলীয় দ্রবণের প্রশমন ক্রিয়ায় ফিনলথ্যালিন ব্যবহার করাই বাঞ্ছনীয় কেন ?

21. KOH এবং HCl-এর মধ্যে প্রশমন ক্রিয়ায় যে-কোনো নির্দেশক ব্যবহার করা যায় কি ?

22. HCN-এর জলীয় দ্রবণ এবং NH_3-এর জলীয় দ্রবণের মধ্যে টাইট্রেশন সম্পন্ন করলে কোনো নির্দেশকই সুবিধাজনক নয় কেন ?

23. তোমার জানা নির্দেশকগুলি অ্যাসিড, ক্ষারকীয় এবং জলীয় দ্রবণে কি কি রঙ উৎপন্ন করে তা লেখ।

24. যে-কোনো অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণকে যে-কোনো ক্ষারকের জলীয় দ্রবণের দ্বারা প্রশমিত করলে কি সব সময় প্রশম দ্রবণ উৎপন্ন হয় ? যদি তা না হয় তাহলে প্রশমনের পর কোন্ ক্ষেত্রে কিরূপ দ্রবণ তৈরী হয় তা বল।

25. কোনো অ্যাসিডের বা ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক কি একটি স্থির সংখ্যা ? যদি তা না হয় তাহলে কিভাবে এগুলির তুল্যাঙ্ক নির্দিষ্ট করা হয় ?

(B) গাণিতিক ঃ

1. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সম্পূর্ণ বিক্রিয়ার জন্য তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর ঃ

(i) H_2SO_3, (ii) $C_2H_2O_4, 2H_2O$ (দ্বিক্ষারকীয় অ্যাসিড), (iii) H_2S, (iv) $Zn(OH)_2$ এবং (v) $AgNO_3$

উঃ (i) 80·92, (ii) 63, (iii) 17·04, (iv) 49·69, (v) 169·87

2. নিম্নলিখিত বিক্রিয়ায় '+' চিহ্নিত পদার্থগুলির তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর ঃ

(i) $NaOH+H_2S^+=NaHS+H_2O$ (উঃ 34·08)

(ii) $K_3PO_4{}^+ + HCl = K_2HPO_4 + KCl$ (উঃ 212·3)

(iii) $Pb(OH)_2{}^+ + HCl = Pb(OH)Cl + H_2O$ (উঃ 241·2148)

3. (i) 18·2305g HCl সমান কত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক HCl ? উ ঃ 0·5

(ii) 98·06g H_2SO_4 সমান কত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক H_2SO_4 ? উঃ 2

(iii) 13·249g Na_2CO_3 সমান কত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক Na_2CO_3? উঃ 0·25

4. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির জলীয় দ্রবণের গাঢ়ত্ব g/l-এককে দেওয়া আছে। দ্রবণগুলির নরম্যালিটি এবং ফরম্যালিটি এককে গাঢ়ত্ব নির্ণয় কর ঃ

(i) HCl (সংকেত-গুরুত্ব—36·5)—36, 3·65, 18·25, 73

উঃ 1N ও 1F, 0·1N ও 0·1F, 0·5N ও 0·5F, 2N ও 2F

(ii) H_2SO_4 (সংকেত-গুরুত্ব—98)—98, 4·9, 0·049

উঃ 2N ও F, 0·1N ও 0·05F, 0·001N ও 0·0005F

(iii) NaOH (সংকেত-গুরুত্ব—40)—2·0, 50

উঃ 0·05 N ও 0·05F, 1·25N ও 1·25F

5. বেরিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের এক লিটারে যদি 75g $BaCl_2$ থাকে তাহলে দ্রবণটির মোলারিটি কত ? উঃ 0·36M

6. 120ml 2M H_2SO_4 দ্রবণে কত মোল H_2SO_4 আছে ? উঃ 0·24 মোল H_2SO_4

7. 0·48 মোল H_2SO_4 পেতে হলে কত আয়তনের 2M H_2SO_4-এর প্রয়োজন ? উঃ 240ml

8. 400ml 2N KOH-এর দ্রবণ প্রস্তুতিতে কতটা KOH লাগবে ? উঃ 44·9g

9. 5*l* 6N H_2SO_4-এব দ্রবণ প্রস্তুতিতে কতগ্রাম H_2SO_4-এর প্রয়োজন? উঃ 1471g

10. 1·198 আপেক্ষিক গুরুত্বের এবং ওজন হিসাবে 27% H_2SO_4 দ্রবণের মোলারিটি এবং নরম্যালিটি নির্ণয় কর। উঃ 3·3M এবং 6·6N

11. 25cc NaOH (g/*l*=4·2) দ্রবণের দ্বারা 24·2cc HCl দ্রবণ প্রশমিত হয়। HCl দ্রবণের g/*l* নির্ণয় কর। উঃ 4·0 (প্রায়)

12. 25cc NaOH দ্রবণের (g/*l*=3·9) দ্বারা 26·1cc HNO_3 দ্রবণ প্রশমিত হলে HNO_3 দ্রবণের g/*l* নির্ণয় কর। উঃ 5·9 (প্রায়)

13. 250cc Na_2CO_3-এর দ্রবণে 12·36g সোডিয়াম কার্বনেট দ্রবীভূত আছে। এই দ্রবণের 25cc-কে 23·2cc HCl দ্রবণ প্রশমিত করে। প্রতি লিটার হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণে কত গ্রাম হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড আছে তা নির্ণয় কর। উঃ 36·7g (প্রায়)

14. এক লিটার HNO_3 দ্রবণে যদি 6·13gHNO_3 দ্রবীভূত থাকে তাহলে এই দ্রবণের 26·2cc প্রশমিত করতে $\frac{N}{10}$ NaOH দ্রবণের কত মিলি লিটারের প্রয়োজন ? উঃ 25·5ml.

15. কোনো অ্যাসিডের 250cc দ্রবণে যদি ঐ অ্যাসিডের 1·56g দ্রবীভূত থাকে এবং দ্রবণটির 26cc-কে যদি 23·9cc NaOH দ্রবণ (g/*l*=4·15) প্রশমিত করে তাহলে অ্যাসিডটির তুল্যাঙ্ক কত ? উঃ 52·9

16. কোনো ক্ষারকের 3·72g জলে দ্রবীভূত করে 250cc দ্রবণ তৈরী করা হয়েছে 26·2cc HCl দ্রবণের (g/*l*) দ্বারা 25cc ক্ষারকের দ্রবণ প্রশমিত হলে ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। উঃ 143

17. 775mm চাপে এবং 18°C উষ্ণতায় 1800cc HCl গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে যদি 500cc HCl-এর দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় তাহলে ঐ দ্রবণের নরম্যালিটি কত ? উঃ 0·154N

18. 770mm চাপে ও 20°C উষ্ণতায় 250cc HCl গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে 100cc দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়েছে। এই দ্রবণের 25cc-কে প্রশমিত করতে কত সিসি ডেসিনরম্যাল NaOH দ্রবণের প্রয়োজন হয় তা নির্ণয় কর। উঃ 26·4cc

19. 50cc HCl দ্রবণের (17·86 g/l) সঙ্গে 0·45g কোনো ধাতব অক্সাইডের বিক্রিয়া ঘটানো হল। সম্পূর্ণ বিক্রিয়ার পর উদ্বৃত্ত অ্যাসিডকে প্রশমিত করতে 25·3cc NaOH দ্রবণের (20·1g/l) প্রয়োজন হয়। ধাতব অক্সাইডের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। উঃ 40·6

20. 32·8cc $\frac{N}{10}$ দ্রবণকে প্রশমিত করতে কোনো অজ্ঞাত গাঢ়ত্বের NaOH দ্রবণের 25cc লাগে। এই NaOH দ্রবণের 200cc-কে $\frac{N}{10}$ NaOH দ্রবণে পরিণত করতে হলে কত পরিমাণ জল মেশাতে হবে ? উঃ 62·4cc

21. 10cc (1·25) $\frac{N}{10}$ Na_2CO_3-এর দ্রবণকে প্রশমিত করতে 25cc H_2SO_4-দ্রবণের প্রয়োজন হয়। এই অ্যাসিড দ্রবণ থেকে কিছু দ্রবণ নিয়ে এক লিটার 0·04N H_2SO_4 দ্রবণ তৈরী করতে হলে কতটা দ্রবণের সঙ্গে কতটা জল মেশাতে হবে ? উঃ 800cc, 200cc

সপ্তম অধ্যায়

জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া ও ধাতুর বিদ্যুৎ-বিভবসারি

(Redox reactions and electro-potential series for metals)

7.1 সূচনা (Introduction) ঃ রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেশীর ভাগই প্রশমন বিক্রিয়া কিংবা জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার অন্তর্ভুক্ত। তাই জারণ ও বিজারণ সম্পর্কে পরিষ্কার ধারণা থাকা বিশেষভাবে প্রয়োজনীয়। এই বিক্রিয়া সম্পর্কে নতুন ধারণার সঙ্গে পুরানো ধারণারও আলোচনা করা হল। কারণ অনেক বিক্রিয়াই পুরানো ধারনায় বুঝতে সহজ হয়।

ধাতুর বিদ্যুৎ-বিভবসারি থেকে বিভিন্ন ধাতু সম্পর্কে নানারকম তথ্য সহজেই আয়ত্ত করা যায়। এই কারণে ধাতুর বিদ্যুৎ-বিভবসারি রসায়নে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

7.2 জারণ ক্রিয়া (Oxidation) ঃ কোনো যৌগে বা মৌলে অক্সিজেন যুক্ত করা বা তার পরিমাণ বৃদ্ধি করাই জারণ। সালফারকে সালফার-ডাই-অক্সাইডে পরিণত করা এবং সালফার-ডাই-অক্সাইডকে সালফার-ট্রাই-অক্সাইডে পরিবর্তিত করা জারণের দুইটি উদাহরণ।

$$S+O_2=SO_2;\ 2SO_2+O_2=2SO_3$$

প্রথমক্ষেত্রে সালফারের উপর এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সালফার-ডাই-অক্সাইডের উপর জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন হয়েছে। অর্থাৎ, সালফার ও সালফার-ডাই-অক্সাইড যথাক্রমে জারিত হয়েছে। অক্সিজেন একটি বিশিষ্ট অধাতু। সুতরাং, যে-কোনো মৌলে বা যৌগে অধাতু যুক্ত করা বা তার পরিমাণ বৃদ্ধি করাও জারণ।

যেমন, ক্লোরিন গ্যাস প্রবাহে ফেরাস ক্লোরাইডকে ফেরিক ক্লোরাইডে পরিণত করাও জারণ ঃ $2FeCl_2 + Cl_2 = 2FeCl_3$

কিন্তু হাইড্রোজেন বাদে সব অধাতুই নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী। সুতরাং, কোনো পদার্থে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের সংযোগকে জারণ বলা হয়। আবার, কোনো পদার্থে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের বৃদ্ধি মানে তুলনামূলকভাবে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের হ্রাস। হাইড্রোজেন ও ধাতুগুলি পজিটিভ

বিদ্যুৎ-ধর্মী। অতএব, হাইড্রোজেন বা ধাতুর পরিমাণ কমানোও জারণ। অন্যভাবে বলা যায় যে, নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত বৃদ্ধিই জারণ। $FeCl_2$-তে Cl : Fe : : 2 : 1 আর $FeCl_3$-তে Cl : Fe : : 3 : 1। দেখা যাচ্ছে যে, নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত ফেরাস ক্লোরাইডের থেকে ফেরিক ক্লোরাইডে বেশী। সুতরাং, এই বিক্রিয়া জারণ-ক্রিয়া। এখন এই বিক্রিয়ায় আয়রনের পজিটিভ যোজ্যতা বৃদ্ধি পেয়েছে। সুতরাং, মৌলের পজিটিভ যোজ্যতার বৃদ্ধিও জারণ। আবার, দ্রবণে ফেরাসক্লোরাইড, ফেরাস আয়ন ও ক্লোরাইড আয়ন গঠন করে এবং ফেরিক ক্লোরাইড, ফেরিক আয়ন ও ক্লোরাইড আয়ন গঠন করে।

$$FeCl_2 = Fe^{++} + 2Cl^- \; ; \quad FeCl_3 = Fe^{+++} + 3Cl^-$$

ফেরাস ক্লোরাইড থেকে ফেরিক ক্লোরাইড গঠনের সময় ক্লোরাইড আয়নের কোনো পরিবর্তন হয় না ; কেবল একটি ইলেক্‌ট্রন ত্যাগ করে ফেরাস আয়ন ফেরিক আয়নে পরিণত হয়। $Fe^{++} - e = Fe^{+++}$

অতএব, পরমাণু বা আয়নের ইলেক্‌ট্রন বর্জনই জারণ।

সুতরাং, পুরানো ধারণা অনুযায়ী **জারণ ক্রিয়ার সংজ্ঞার্থ হল :** যে প্রক্রিয়ায় (1) কোনো পদার্থে অক্সিজেন বা কোনো অধাতু যুক্ত করা বা এগুলির পরিমাণ বৃদ্ধি করা বা, (2) কোনো পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন বা কোনো ধাতু দূরীভূত করা বা এগুলির পরিমাণ হ্রাস করা বা, (3) কোনো পদার্থে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত বৃদ্ধি করা বা, (4) পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত হ্রাস করা বা, (5) কোনো মৌলের পজিটিভ যোজ্যতার বৃদ্ধি করা হয়, তাকেই জারণ বলে। জারণের আধুনিক সংজ্ঞার্থ হল : **পরমাণু বা আয়নের ইলেক্‌ট্রন বর্জনই জারণ।**

7.3 বিজারণ ক্রিয়া (Reduction) : জারণ ক্রিয়ার ঠিক বিপরীত প্রক্রিয়া হল বিজারণ ক্রিয়া। সুতরাং, কোনো যৌগে বা মৌলে হাইড্রোজেন বা কোনো ধাতু যুক্ত করা বা এগুলির পরিমাণ বৃদ্ধি করাই বিজারণ ক্রিয়া। ক্লোরিন গ্যাসকে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে পরিণত করার অর্থ ক্লোরিনের উপর বিজারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করা। $H_2 + Cl_2 = 2HCl$

এক্ষেত্রে ক্লোরিন বিজারিত হয়েছে। আবার, কোনো যৌগ থেকে

অক্সিজেন দূরীভূত করা বা এর পরিমাণ হ্রাস করাও বিজারণ ক্রিয়া। যেমন,

$$CO_2+C=2CO$$

কার্বন ডাইঅক্সাইডকে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত করা হলে তাকে বিজারণ ক্রিয়া বলা হয়। কিন্তু অক্সিজেন বিশিষ্ট অধাতু বলে কোনো পদার্থে অধাতুর পরিমাণ হ্রাস করা বা তা থেকে অধাতুকে দূরীভূত করাকে বিজারণ বলা হয়। যেমন, অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে ধাতব সোডিয়াম উত্তপ্ত করলে ধাতব অ্যালুমিনিয়াম পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে, অধাতুর (ক্লোরিনের) দূরীকরণ বিজারণ ক্রিয়ার উদাহরণ। $AlCl_3+3Na=3NaCl+Al$

অধাতুর পরিমাণ হ্রাস করার অর্থ হল নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের পরিমাণ হ্রাস করা। নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের হ্রাস মানে তুলনামূলক-ভাবে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের পরিমাণ বৃদ্ধি। সুতরাং, কোনো পদার্থে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের পরিমাণ বাড়ানো বা নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের পরিমাণ কমানোও বিজারণ। অন্যভাবে বলা যায় যে, নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত হ্রাস বা পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের উক্ত অনুপাত বৃদ্ধিকে বিজারণ বলা যায়। $AlCl_3$-তে Al ও Cl-এর মোলীয় অনুপাত হয় 1 : 3 কিন্তু Al-এ এই অনুপাত হয় 1 : 0। সুতরাং, বিক্রিয়াটিতে $AlCl_3$ বিজারিত হয়েছে। এই বিক্রিয়ায় অ্যালুমিনিয়ামের পজিটিভ যোজ্যতা 3 থেকে '0' (শূন্য) হয়েছে। সুতরাং, যে বিক্রিয়ায় মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা কমে অর্থাৎ নেগেটিভ যোজ্যতা বাড়ে তাকেই বিজারণ বলে।

ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস প্রবাহিত করে ফেরাস ক্লোরাইড পাওয়া যায়।

$$2FeCl_3+H_2S=2FeCl_2+S+2HCl$$

$$Fe^{+++}+e=Fe^{++}$$

দ্রবণে $FeCl_3$ থেকে Fe^{+++} আয়ন তৈরী হয় এবং তা একটি ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে Fe^{++} আয়নে পরিণত হয়। সুতরাং, পরমাণু বা আয়নের ইলেকট্রন গ্রহণই বিজারণ ক্রিয়া।

উপরিউক্ত আলোচনা থেকে বিজারণের **পুরানো সংজ্ঞার্থ** দেওয়া যায় : যে প্রক্রিয়ায় (1) কোনো পদার্থের থেকে অক্সিজেন বা অধাতু দূরীভূত করা বা এগুলির পরিমাণ হ্রাস করা বা, কোনো পদার্থে (2) হাইড্রোজেন বা ধাতু যুক্ত করা বা এগুলির পরিমাণ বৃদ্ধি করা বা, (3) নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী ও

পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত বৃদ্ধি করা বা, (4) মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা কমানো বা নেগেটিভ যোজ্যতা বাড়ানো হয়, তাকে বিজারণ ক্রিয়া বলে।

বিজারণের আধুনিক সংজ্ঞার্থ হল: **পরমাণু বা আয়নের ইলেক্ট্রন গ্রহণকে বিজারণ ক্রিয়া বলে।**

নীচে জারণ ও বিজারণ ক্রিয়ার পার্থক্য দেখানো হল:

জারণ ও বিজারণের পার্থক্যের ছক

	জারণ	বিজারণ
1. নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের	বৃদ্ধি হয়	হ্রাস হয়
2. পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের	হ্রাস হয়	বৃদ্ধি হয়
3. পজিটিভ যোজ্যতার	বৃদ্ধি হয়	হ্রাস হয়
4. নেগেটিভ যোজ্যতার	হ্রাস হয়	বৃদ্ধি হয়
5. ইলেক্ট্রন	বর্জিত হয়	গৃহীত হয়

7.1 নং ছক

উপরে আলোচিত জারণ ও বিজারণ ক্রিয়ার প্রত্যেকটি উদাহরণ একটু লক্ষ্য করলে বোঝা যায় যে, যে-কোনো বিক্রিয়ায় একটি পদার্থ যখন জারিত হচ্ছে অন্য একটি পদার্থ তখন বিজারিত হচ্ছে। অর্থাৎ, জারণ ও বিজারণ একই সঙ্গে ঘটে (170 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য)।

7.4 জারক ও বিজারক (Oxidising agent or oxidant and reducing agent or reductant): কোনো পদার্থে যখন অক্সিজেন যুক্ত করে তাকে জারিত করা হয় তখন যে-কোনো একটি পদার্থকে অক্সিজেন যোগাতে হয়। যে পদার্থটি অক্সিজেন দান করে সেটিকে জারক বলে। যেমন, ধাতব ম্যাগনেসিয়ামের দহনের ফলে তা ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইডে যখন পরিণত হয় তখন বায়ুর অক্সিজেন নিজেই জারকের কাজ করে; $2Mg+O_2$ (জারক)$=2MgO$। অনুরূপভাবে, বিভিন্ন জারণ ক্রিয়ায় হাইড্রোজেন বাদে অন্য কোনো অধাতু যুক্ত করা হয়। যে-পদার্থগুলি অধাতু দান করে সেগুলিই জারক। যেমন, ফেরাস ক্লোরাইড দ্রবণে ক্লোরিন গ্যাস প্রবাহিত করে ফেরাস ক্লোরাইডকে ফেরিক ক্লোরাইডে জারিত করা হয়। এক্ষেত্রে ক্লোরিন হল একটি জারক পদার্থ।

$$2FeCl_2+Cl_2 \text{ (জারক)}=2FeCl_3$$

আবার, যখন কোনো পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন বা কোনো ধাতুর পরিমাণ কমিয়ে জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করা হয় তখন যে-পদার্থ হাইড্রোজেন বা অন্য ধাতুর পরিমাণ কমিয়ে নেয় তাই জারক পদার্থ হয়। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডকে ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড জারিত করে ক্লোরিন গ্যাস উৎপন্ন করে। এখানে ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেনকে জলে পরিণত করে। সুতরাং ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড একটি জারক পদার্থ।

$$4HCl + MnO_2(\text{ জারক }) = MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$$

$$2KI + H_2O_2(\text{ জারক }) = 2KOH + I_2$$

বিভিন্ন পদার্থ ইলেকট্রন বর্জন করে জারিত হয়। যে-পদার্থ এই বর্জিত ইলেকট্রন গ্রহন করে তাই জারক। স্ট্যানাস ক্লোরাইড মারকিউরিক ক্লোরাইডের দ্বারা জারিত হয় এবং স্ট্যানিক ক্লোরাইডে পরিণত হয়। এখানে স্ট্যানাস আয়ন দুটি ইলেকট্রন ত্যাগ করে স্ট্যানিক আয়নে পরিণত হয়। আর মারকিউরিক আয়ন এই ইলেকট্রন দুটিকে গ্রহণ করে। সুতরাং মারকিউরিক ক্লোরাইড এই বিক্রিয়ায় জারকের কাজ করে।

$$SnCl_2 = Sn^{++} + 2Cl^- \; ; \; Sn^{++} - 2e = Sn^{+4}$$

$$HgCl_2 = Hg^{+2} + 2Cl^- \; ; \; Hg^{+2} + 2e = Hg$$

অতএব, জারণ ক্রিয়ায় যে-পদার্থ অন্য কোনো পদার্থে অক্সিজেন বা অন্য কোনো অধাতুর পরিমাণ বাড়ায় বা হাইড্রোজেন বা অন্য কোনো ধাতুর পরিমাণ কমায় বা, পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত কমায় বা, নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের অনুপাত বাড়ায় বা, মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা বাড়ায় তাকেই জারক বলে। আধুনিক সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী **যে-পদার্থ ইলেকট্রন গ্রহণ করে তাই জারক। অতএব, জারণকালে জারক বিজারিত হয়।**

পক্ষান্তরে যে-পদার্থ অন্য কোনো পদার্থে বিজারণ ক্রিয়ার দ্বারা অক্সিজেন বা কোনো অধাতুর পরিমাণ কমায় বা, হাইড্রোজেন অথবা কোনো ধাতুর পরিমাণ বাড়ায় বা, পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত বাড়ায় বা, নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত কমায় বা, মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা কমায় তাকেই বিজারক বলে। ইলেকট্রনীয় সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী **যে-পদার্থ ইলেকট্রন ত্যাগ করে তাকেই বিজারক বলে। সুতরাং, বিজারণ-কালে বিজারক জারিত হয়।**

জারক ও বিজারকের পার্থক্যের ছক

জারক	বিজারক
1. অন্য পদার্থে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত বাড়ায়। ফলে জারক পদার্থে এই অনুপাত কমে। অর্থাৎ, জারণকালে জারক বিজারিত হয়।	1. অন্য পদার্থে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের মোলীয় অনুপাত কমায়। ফলে বিজারক পদার্থে এই অনুপাত বাড়ে। অর্থাৎ, বিজারণকালে বিজারক জারিত হয়।
2. অন্য পদার্থে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের অনুপাত কমায়। ফলে জারক পদার্থে এই অনুপাত বাড়ে। অর্থাৎ, জারণকালে জারক বিজারিত হয়।	2. অন্য পদার্থে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী অংশের অনুপাত বাড়ায়। ফলে বিজারক পদার্থে এই অনুপাত কমে। অর্থাৎ, বিজারণকালে বিজারক জারিত হয়।
3. মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা বাড়ায়। নিজের এই যোজ্যতা কমে।	3. মৌলের পজিটিভ যোজ্যতা কমায়। নিজের এই যোজ্যতা বাড়ে।
4. জারক ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে।	4. বিজারক ইলেক্ট্রন ত্যাগ করে।
5. জারক বিজারককে জারিত করে এবং নিজে বিজারিত হয়।	5. বিজারক জারককে বিজারিত করে এবং নিজে জারিত হয়।

7.2 নং ছক

জারণ ও বিজারণ একই সঙ্গে ঘটে (Oxidation and reduction occurs simultaneously) ঃ উপরি উক্ত আলোচনা থেকে এটা পরিষ্কার যে, জারক জারণ-ক্রিয়া সম্পন্ন করে এবং তা করতে গিয়ে নিজে বিজারিত হয়। আবার, বিজারক বিজারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করে এবং তা করতে গিয়ে নিজে জারিত হয়। সুতরাং, জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন হলেই এক সঙ্গে বিজারণ ক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং জারক ও বিজারক একই সঙ্গে বিক্রিয়া করে। বস্তুতঃ **জারণে যে-ইলেকট্রন নির্গত হয় বিজারণে সেই ইলেকট্রন গৃহীত হয়।** জারণ ও বিজারণের মধ্যে এই পারস্পরিক সম্পর্কটি ছকের আকারে দেখানো হল ঃ

বিজারণ ($+ne$)

জারক + বিজারক = বিজারিত পদার্থ + জারিত পদার্থ

($-ne$) জারণ

বিজারণ

$$Br_2 \text{ (জারক) } + 2KI \text{ (বিজারক) } = 5KBr + I_2$$

জারণ

সুতরাং, কোনো বিজারণ বা জারণ ক্রিয়াকে বিজারণ-জারণ ক্রিয়া বলা উচিত।

নীচে কতকগুলি উদাহরণ দিয়ে বিজারণ-জারণ ক্রিয়া বোঝানো হল ঃ

উদাহরণ ঃ (1) ক্লোরিন ও হাইড্রোজেন সালফাইডের বিক্রিয়ায় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও সালফার তৈরী হয়। এখানে ক্লোরিনের সঙ্গে হাইড্রোজেন যুক্ত হওয়া বিজারণ। আবার H_2S থেকে হাইড্রোজেন বিযুক্ত হওয়া জারণ।

$$Cl_2 + H_2S = 2HCl + S$$

(2) উত্তপ্ত কপার অক্সাইডের সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়ায় ধাতব কপার ও জল তৈরী হয়। এখানে কপার অক্সাইডের কপারে পরিণত হওয়া বিজারণ। আবার, হাইড্রোজেনের সঙ্গে অক্সিজেনের সংযুক্তি ও জল-অণু গঠন হল জারণ।

$$CuO + H_2 = Cu + H_2O$$

(3) মারকিউরাস ক্লোরাইড ও স্ট্যানাস ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় ধাতব পারদ ও স্ট্যানিক ক্লোরাইড তৈরী হয়। এক্ষেত্রে Hg_2Cl_2 থেকে পারদ গঠন হল বিজারণ ক্রিয়া। আবার, $SnCl_2$ থেকে $SnCl_4$ তৈরী হল জারণ ক্রিয়া। কারণ, স্ট্যানাস আয়ন ইলেকট্রন ত্যাগ করে স্ট্যানিক আয়নে পরিণত হয় এবং মারকিউরাস আয়ন সেই ইলেকট্রন গ্রহন করে ধাতব মারকারিতে পরিণত হয়।

$$SnCl_2 = Sn^{++} + 2Cl^- \ ; \ Sn^{++} - 2e = Sn^{+4}$$

$$Hg_2Cl_2 = Hg_2^{++} + 2Cl^- \ ; \ Hg_2^{++} + 2e = 2Hg$$

কতকগুলি সাধারণ জারক ও বিজারকের নামের তালিকা

জারক	বিজারক
1. অক্সিজেন—O_2	1. হাইড্রোজেন—H_2
2. ওজোন—O_3	2. কার্বন—C
3. হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড—H_2O_2	3. কার্বন মনোক্সাইড—CO
4. ক্লোরিন—Cl_2	4. সালফার ডাইঅক্সাইড—SO_2
5. নাইট্রিক অ্যাসিড—HNO_3	5. হাইড্রোজেন সালফাইড—H_2S
6. অ্যাকুয়া রেজিয়া—3 HCl : 1 HNO_3	6. ধাতু
7. পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট—$KMnO_4$	7. ধাতু ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড
8. পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট - $K_2Cr_2O_7$	8. স্ট্যানাস ক্লোরাইড—$SnCl_2$
9. পটাসিয়াম নাইট্রেট—KNO_3	9. পটাসিয়াম আয়োডাইড—KI
10. সোডিয়াম পারক্সাইড—Na_2O_2	10. আর্সেনিয়াস অক্সাইড—AS_2O_3

7·3 নং ছক

অবশ্য কোনো জারক অন্য একটি বিক্রিয়ায় বিজারকের কাজ করতে পারে। সুতরাং, এটি একটি আপেক্ষিক ব্যাপার। যেমন, নাইট্রাস অ্যাসিড ফেরাস লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফেরিক লবণ উৎপন্ন করে। আবার, ব্রোমিনের জলীয় দ্রবণকে বিজারিত করে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড তৈরী করে।

বিজারণ

(জারক) (বিজারক)

$$2HNO_2 + 2FeSO_4 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 2H_2O$$

জারণ

জারণ

$$HNO_2 + Cl_2 + H_2O = 2HCl + HNO_3$$

(বিজারক) (জারক)

বিজারণ

অনুরূপভাবে, কোনো বিজারক সাধারণতঃ বিজারকের কাজ করলেও অন্য কোনো বিক্রিয়ায় জারকের কাজ করতে পারে। যেমন, সালফার-ডাই-

অক্সাইড হাইড্রোজেন সালফাইডকে সালফারে জারিত করে। আবার, অ্যাসিডিক পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণকে সালফার ডাইঅক্সাইড বিজারিত করে ম্যাঙ্গানাস সালফেট তৈরী করে।

বিজারণ

$$2KMnO_4+5SO_2+2H_2O=K_2SO_4+2MnSO_4+2H_2SO_4$$

জারক বিজারক

জারণ

বিজারণ

$$SO_2(\text{জারক})+2H_2S\ (\text{বিজারক})=S+2S+2H_2O$$

জারণ

জারক ও বিজারকের পরীক্ষা ঃ সাধারণতঃ নিম্নোক্ত উপায়ে জারক ও বিজারকের পরীক্ষা করা যায় ঃ

জারকের পরীক্ষা ঃ

(1) পটাসিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ থেকে জারক বেগুনী বর্ণের আয়োডিন মুক্ত করে এবং তা স্টার্চের জলীয় দ্রবণকে নীলবর্ণে পরিণত করে।

(2) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে জারককে উত্তপ্ত করলে ক্লোরিন গ্যাস নির্গত হয় এবং তা ভিজে স্টার্চ আয়োডাইড কাগজকে নীলবর্ণে পরিণত করে।

(3) জারক ফেরাস লবণকে ফেরিক লবণে পরিণত করে। বিক্রিয়ার পরে দ্রবণে অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট যোগ করলে তা রক্তিম লাল বর্ণ ধারণ করে।

বিজারকের পরীক্ষা ঃ

(1) বিজারকের আম্লিক দ্রবণে কমলা রঙের পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণ যুক্ত করলে তা সবুজ রঙে পরিবর্তিত হয়।

(2) বিজারকের আম্লিক দ্রবণে বেগুনীবর্ণের পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ যুক্ত করলে তা বর্ণহীন হয়।

(3) ফেরিক লবণের দ্রবণে বিজারক যুক্ত করলে ফেরাস লবণ তৈরী হয়।

এখন দ্রবণে পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড যুক্ত করলে গাঢ় নীলবর্ণের অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়।

7.5 জারণ-সংখ্যা (Oxidation number) ঃ জারণের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব থেকে বলা যায় যে, ধাতব আয়রনকে জারিত করে ফেরাস আয়ন ও ফেরিক আয়ন পাওয়া যেতে পারে ঃ

$$Fe^0-2e=Fe^{++} ;\ Fe^0-3e=Fe^{+++}$$

ফেরাস ক্লোরাইড, ফেরাস সালফেট ইত্যাদি ফেরাস আয়নের যৌগ। আবার, ফেরিক ক্লোরাইড, ফেরিক হাইড্রক্সাইড প্রভৃতি ফেরিক আয়নের যৌগ। সুতরাং, যৌগিক পদার্থে আয়রনের জারিত অবস্থা (State of oxidation) দুইরকমের হয়। আয়রনের এই জারিত অবস্থা দুটি সাংকেতিক ভাষায় প্রকাশ করার জন্য যৌগের সংকেত-এককে আয়রনের চিহ্নের মাথায় দুটি পজিটিভ বিদ্যুৎ-আধানকে (Positive electrical charge) +II (রোমীয় হরফ) এবং তিনটি পজিটিভ বিদ্যুৎ-আধানকে +III হিসাবে লেখা হয়। যেমন,

$$\overset{+II}{Fe}Cl_2\ \overset{+III}{Fe}Cl_3$$

+II হল ফেরাস ক্লোরাইডে আয়রনের জারণ-সংখ্যা এবং +III-কে ফেরিক ক্লোরাইডে আয়রনের জারণ-সংখ্যা বলে। প্রকৃত পক্ষে ফেরাস ও ফেরিক আয়ন যথাক্রমে +2 এবং +3 একক বিদ্যুৎ-আধান বহন করে।

আবার, ক্লোরিন পরমাণু একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে ক্লোরাইড আয়নে পরিণত হয় ঃ $Cl+e=Cl^-$

বিজারণের ইলেক্ট্রনীয় সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী Cl^- আয়ন ক্লোরিনের বিজারিত অবস্থা (State of reduction)। ফেরাস ক্লোরাইড ও ফেরিক ক্লোরাইডে ক্লোরিনের এই বিজারিত অবস্থাকে বোঝাবার জন্য এই যৌগগুলির সংকেত-এককে ক্লোরিনের চিহ্নের মাথায় —I লেখা যায়।

$$\overset{+II}{Fe}\overset{-I}{Cl_2},\quad \overset{+III}{Fe}\overset{-I}{Cl_3}$$

ক্লোরিনের চিহ্নের মাথায় লেখা —I সংখ্যাটিকে ক্লোরিনের বিজারণ-সংখ্যা বলা যায়। কিন্তু —I-কে ক্লোরিনের বিজারণ-সংখ্যা না বলে জারণ-সংখ্যাই বলা হয়। এটি কেবল একটি রীতি বিশেষ। এই রীতি অনুযায়ী '+' চিহ্ন মৌলের জারিত অবস্থাকে বোঝায় এবং '—' চিহ্ন মৌলের বিজারিত অবস্থাকে বোঝায়। এক্ষেত্রেও ক্লোরাইড আয়ন একটি নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান (Negative electrical charge) বহন করে।

সুতরাং, আয়নীয় যৌগে (Ionic Compound-এ) কোনো পরমাণু যত একক পজিটিভ বা নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান বহন করে চিহ্ন সহ সেই সংখ্যাটিই পরমাণুটির ঐ যৌগে জারণ-সংখ্যা হয়। এই ধরনের যৌগে কোনো পরমাণু যতগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ বা গ্রহণ করতে পারে তাই ঐ যৌগে পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা স্থির করে।

কিন্তু সমযোজী যৌগে (Covalent Compound-এ) কোনো আয়ন তৈরী হয় না। তা হলে কি সমযোজী যৌগে কোনো পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বলে কিছু নেই? সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রেও জারণ-সংখ্যা নির্দিষ্ট করা যায়। একটি সমযোজী বন্ধনে (Covalent bond-এ) দুটি ইলেক্ট্রন থাকে। সমযোজী বন্ধন গঠনকারী পরমাণুদ্বয় এই ইলেক্ট্রন জোড়াকে আকর্ষন করে। বন্ধন গঠনকারী ইলেক্ট্রন যুগলের প্রতি বিভিন্ন পরমাণুর বৈদ্যুতিক আকর্ষন বিভিন্ন পরিমাণের হয়। কোনো পরমাণুর বন্ধন গঠনকারী ইলেক্ট্রনের প্রতি যে বৈদ্যুতিক আকর্ষণ থাকে তাকে বলে পরমাণুটির **নেগেটিভ বিদ্যুৎ-ধর্ম** (Electro-negativity)। নীচে কতকগুলি প্রয়োজনীয় মৌলকে ক্রমবর্ধমান ইলেক্ট্রোনেগেটিভিটি অনুযায়ী সাজানো হল :

$$\xrightarrow{\hspace{4cm}}$$
$$H, C, S, Cl, N, O, F$$

যখন দুটি সমান ইলেক্ট্রোনেগেটিভিটিবিশিষ্ট পরমাণু সমযোজী বন্ধনে যুক্ত থাকে তখন উভয় পরমাণুর ইলেক্ট্রনের প্রতি আকর্ষন সমান হওয়ায় ইলেক্ট্রন যুগল পরমাণু দুটির কেন্দ্রকদ্বয়ের ঠিক মাঝখানে থাকে। কিন্তু যখন অসম ইলেক্ট্রোনেগেটিভিটিসম্পন্ন পরমাণু সমযোজক গঠন করে তখন বন্ধন গঠনকারী ইলেক্ট্রন দুটি বেশী ইলেক্ট্রোনেগটিভ পরমাণুর কাছাকাছি থাকে অর্থাৎ কম ইলেক্ট্রোনেগেটিভ পরমাণুর থেকে দূরে থাকে। ফলে অল্প হলেও বেশী ইলেক্ট্রোনেগেটিভ পরমাণুতে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধানের কল্পনা করা যায়। সুতরাং, এই ধরনের যৌগে বিভিন্ন পরমাণুর জারণ-সংখ্যাও কল্পনা করা যায়।

অতএব, কোনো যৌগে একটি পরমাণুর জারিত অবস্থাকে বোঝানোর জন্য সেই পরমাণুর উপর যত একক পজিটিভ বা নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান নির্দিষ্ট করা হয় সেই চিহ্নসহ সংখ্যাটিকে পরমাণুটির ঐ যৌগে জারণ-সংখ্যা বলে। জারণ-সংখ্যা শূন্য, ভগ্নাংশ বা পূর্ণ সংখ্যা হতে পারে। পরমাণুর উপর বিদ্যুৎ-আধান নির্দিষ্ট করার ব্যাপারটা একটি নিয়মাবলী অনুযায়ী পরিচালিত হয়। যথা :

(1) মৌলিক অবস্থায় পরমাণু বা অণুর জারণ-সংখ্যা '0' (শূন্য) হবে।

(2) ফ্লোরিনের যৌগে ফ্লোরিনের জারণ-সংখ্যা সর্বদাই—I হয়।

(3) পর্যায় সারণীর (Periodic table-এর) IA ও IIA শ্রেণীর (Group-এর) যে-কোনো মৌলের জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে +I এবং +II হয়।

(4) ধাতব হাইড্রাইডগুলি বাদে সাধারণতঃ যে-কোনো যৌগে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা +I হয়। ধাতব হাইড্রাইডের ক্ষেত্রে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা --I হয়।

(5) পার-অক্সাইডে ও ফ্লোরিনের যৌগ বাদে অন্য যে-কোনো যৌগে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা—II হয়। পার-অক্সাইডে অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা—I এবং ফ্লোরিন যৌগে তা +II হয়।

(6) যৌগে বিভিন্ন পরমাণুর জারণ-সংখ্যার যোগফল শূন্য ধরা হয়।

(7) আয়নের ক্ষেত্রে বিভিন্ন পরমাণুর জারণ-সংখ্যার যোগফল কণাটির উপর নির্দিষ্ট বিদ্যুৎ-আধানের সংখ্যার সমান হয়।

রাসায়নিক পদার্থের ধরন	স্থিরকৃত জারণ-সংখ্যা	উদাহরণ
1. মুক্ত অবস্থায় মৌলিক পদার্থের	'0' (শূন্য)	Na^0, $H_2{}^0$, $Cl_2{}^0$, $O_2{}^0$, P^0, S^0
2. এক পারমাণবিক আয়নের	বিদ্যুৎ-আধানের সমান	+I H^+, +II Mg^{++}, —I F^-, +II Fe^{++}
3. যৌগে IA শ্রেণীর মৌলের	+I	+I $NaNO_3$, +I K_2SO_4
4. যৌগে IIA শ্রেণীর মৌলের	+II	+II CaF_2, +II CaH_2, +II BaS
5. যৌগ অবস্থায় ফ্লোরিনের	—I	—I HF, —I OF_2, —I KHF_2
6. যৌগ অবস্থায় অক্সিজেনের (পার-অক্সাইড ও ফ্লোরিন যৌগ বাদে)	—II	—II H_2O, —II H_2SO_4, —II CO_2
7. পার-অক্সাইডে অক্সিজেনের	—I	—I H_2O_2, —I Na_2O_2
8. ফ্লোরিন যৌগে অক্সিজেনের	+II	+II OF_2
9. বহু পারমাণবিক আয়নে অক্সিজেনের	—II	—II NO_3', —II SO_4''
10 ধাতব হাইড্রাইডে হাইড্রোজেনের	—I	—II NaH, —I CaH_2
11. অন্য যৌগে বা আয়নে এবং বিদ্যুৎ-বিভবসারির পজিটিভ বিদ্যুৎ-বিভবের ধাতব হাইড্রাইড-গুলির ক্ষেত্রে হাইড্রোজেনের,	+I	+I HSO_4, +I H_2O, +I CH_4, +I CuH

7·4 নং ছক

জারণ-সংখ্যা ও যোজ্যতা : একটি পরমাণুর অন্য একটি পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অণু গঠনের ক্ষমতাকে যোজ্যতা বলে আর অণুতে কোনো পরমাণুর জারিত অবস্থাকে বোঝানোর জন্য নির্দিষ্ট বিদ্যুৎ-আধানকে ঐ পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বলে। যেমন, C_2H_4-এ কার্বনের যোজ্যতা চার কিন্তু জারণ-সংখ্যা হল :— II। অনুরূপে, H_2O_2-তে অক্সিজেনের যোজ্যতা দুই কিন্তু জারণ-সংখ্যা হল : —I।

জারণ-সংখ্যা নির্ণয় : কোনো যৌগে যে-কোনো পরমাণুর জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করতে হলে যৌগটির সংকেতের প্রতিটি পরমাণুর জারণ-সংখ্যার যোগফল শূন্য ধরে নিয়ে প্রদত্ত পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করা হয়।

7.1 নং উদাহরণ : পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটে Mn-এর জারণ-সংখ্যা কত?

(a) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের সংকেত-এককে পটাসিয়াম ও অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা।

(b) **সমাধানের পথ :** পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের সংকেত-একক $KMnO_4$। K এবং O-এর জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে +I ও —II ; এখন, K-এর জারণ-সংখ্যা + Mn-এর জারণ-সংখ্যা + 4 × O-এর-জারণ-সংখ্যা = 0

(c) **গাণিতিক সমাধান :** ধরি $KMnO_4$-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা = x

অতএব, $+1+x+4\times(-2)=0$ বা $x=+7$

সুতরাং, $KMnO_4$-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা = +VII

7.2 নং উদাহরণ : CH_3COCH_3-তে কার্বনের জারণ-সংখ্যা কত?

(d) **গাণিতিক সমাধান :** ধরি কার্বনের জারণ-সংখ্যা = x

CH_3COCH_3-কে C_3H_6O হিসাবে লেখা যায়। এখন,

$$3x+6\times(+1)+\ 1\times(-2)=0, \text{ বা, } x=\frac{+2-6}{3}=-\frac{4}{3}$$

$\therefore$ CH_3COCH_3-তে C-এর জারণ-সংখ্যা $= -1\frac{1}{3}$

7.3 নং উদাহরণ : $K_2Cr_2O_7$-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা কত?

গাণিতিক সমাধান : ধরি $K_2Cr_2O_7$-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা = x

এখন, $2\times(+1)+2x+7\times(-2)=0$

বা, $2+2x-14=0$ বা, $2x=12$ $\therefore$ $x=6$

সুতরাং, $K_2Cr_2O_7$-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা = +VI

7.4 নং উদাহরণ : CO_2-তে কার্বনের জারণ-সংখ্যা কত?

গাণিতিক সমাধান ঃ ধরি CO_2-তে কার্বনের জারণ-সংখ্যা$=x$

এখন, $x+2\times(-2)=0$ বা, $x=+4$

অতএব, CO_2-তে কার্বনের জারণ-সংখ্যা$=+IV$

7.5 নং উদাহরণ ঃ PO_4'''-এ ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা কত?

গাণিতিক সমাধান ঃ ধরি PO_4'''-এ ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা$=x$

এখন, $1\times x+4\times(-2)=-3$ বা, $x-8=-3$ বা, $x=+5$

অতএব, PO_4'''-এ P-এর জারণ-সংখ্যা$=+V$

জারণ-সংখ্যার গুরুত্ব (Significance of oxidation numbers) ঃ তত্ত্বের দিক থেকে জারণ-সংখ্যার গুরুত্ব নগণ্য হলেও ব্যবহারিক দিক থেকে এর যথেষ্ট গুরুত্ব আছে। জারণ-সংখ্যার দ্বারা একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পর্কে অনেক কিছু জানতে পারি। যেমন,

(i) রাসায়নিক বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর না অন্য কোনো ধরনের।

(ii) জারণ-বিজারণ শ্রেণীর বিক্রিয়া হলে কোন্‌টি জারক পদার্থ আর কোন্‌টিই বা বিজারক পদার্থ।

(iii) কত তুল্যাঙ্ক অনুপাতে জারক ও বিজারক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করেছে এবং পদার্থটির গ্রাম-তুল্যাঙ্কই বা কত।

(iv) জারণ-সংখ্যার সাহায্যে রাসায়নিক বিক্রিয়ার (অবশ্যই জারণ-বিজারণ শ্রেণীর) সমীকরণের ভারসাম্য (Balance) প্রতিষ্ঠা করা যায়।

(i) রাসায়নিক বিক্রিয়ার শ্রেণী নির্ণয় ঃ বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিভিন্ন পরমাণুর জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করে বোঝা যায় বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর না অন্য কোনো ধরনের। যদি বিক্রিয়াশীল কোনো একটি যৌগের যে-কোনো একটি পরমাণুর বিক্রিয়ার পরে জারণ-সংখ্যা পাল্টে যায় তাহলে বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর হয়।

7.6 নং উদাহরণ ঃ $HNO_3+H_2S=NO+S+H_2O$; এই বিক্রিয়াটি কি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর?

(a) **প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ** প্রত্যেকটি সংকেতে পরমাণুর জারণ- সংখ্যা।

(b) **সমাধানের পথ ঃ** অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে $-II$ এবং $+I$ হয়। বিভিন্ন যৌগে N ও S-এর জারণ-সংখ্যা নির্ণয়।

(c) **গাণিতিক সমাধান ঃ** HNO_3-তে N-এর জারণ-সংখ্যা ধরি x

$1\times(+1)+x+3\times(-2)=0$ বা, $+1+x-6=0$, $\therefore$ $x=5$

সুতরাং, HNO_3-এ N-এর জারণ-সংখ্যা$=+V$

আবার, NO-তে N-এর জারণ-সংখ্যা$=y$ (ধরি)

$\therefore \quad y+1\times(-2)=0$ বা $y=2$

সুতরাং, NO-এ N-এর জারণ-সংখ্যা$=+II$

অনুরূপভাবে, H_2S-এ S-এর জারণ-সংখ্যা$=z$ (ধরি)

$\therefore \quad 2\times(+1)+z=0$ বা, $z=-2$

সুতরাং, H_2S-এ S-এর জারণ-সংখ্যা $=-II$; আবার, মৌলিক S-এর জারণ-সংখ্যা $=0$

অতএব, প্রদত্ত সর্তানুসারে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা$+V$ থেকে$+II$-এ এবং সালফারের জারণ-সংখ্যা $-II$ থেকে পরিবর্তিত হয়ে '0' হয়েছে।

সুতারং, এই বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর।

7.7 নং **উদাহরণ ঃ** $2H^{+}+S''=H_2S$; এই বিক্রিয়াটি কোন্ শ্রেণীর?

(a) **সমাধানের পথ ঃ** বিভিন্ন সংকেতে কোনো একটি পরমাণুর জারণ-সংখ্যা পরিবর্তিত হয়েছে কিনা তা দেখা।

(b) **গাণিতিক সমাধান ঃ** H^{+}-এ H-এর জারণ-সংখ্যা$=+I$ এবং S''-এ S-এর জারণ-সংখ্যা$=-II$

H_2S এ S-এর জারণ-সংখ্যা$=x$ (ধরি)

$\therefore \quad 2\times(+1)+x=0 \quad \therefore \quad x=-2$

সুতরাং, H_2S-এ S-এর জারণ-সংখ্যা$=-II$

অতএব প্রত্যেকটি পরমাণুর জারণ-সংখ্যাই অপরিবর্তিত আছে। সুতরাং, বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ শ্রেণীর নয়, প্রশমন শ্রেণীর।

এখন জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার একটি ব্যাপক সংজ্ঞার্থ দেওয়া যায় : **যে-বিক্রিয়ায় রাসায়নিক কণাগুলির একটি বা একাধিক পরমাণুর জারণ-সংখ্যা অর্থাৎ, নির্দিষ্ট বিদ্যুৎ-আধান পরিবর্তিত হয় তাকে বিজারণ-জারণ বিক্রিয়া (Reduction-Oxidation—সংক্ষেপে Redox reaction) বলে।** যে-পদার্থের উপর জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন হয় তার একটি মৌলিক উপাদানের জারণ-সংখ্যা বাড়ে এবং যে-পদার্থের উপর বিজারণ ক্রিয়া সম্পন্ন হয় তার একটি মৌলিক উপদানের জারণ-সংখ্যা কমে। অর্থাৎ,

জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি ——————→ জারণ

8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8

←——— − ———→ ←——— + ———→

বিজারণ ←—————————— জারণ-সংখ্যার হ্রাস

(ii) **জারক পদার্থ ও বিজারক পদার্থ নির্ণয়ঃ** বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ায় কোন্‌টি জারক আর কোন্‌টি বিজারক তা জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করে বোঝা যায়। **কোনো বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ায় যে-বিক্রিয়কের এক বা একাধিক পরমাণুর জারণ-সংখ্যা কমে তাকে জারক পদার্থ বলে এবং বিক্রিয়কটির যে-রাসায়নিক পরিবর্তন হয় সেটিকে বিজারণ বলে।** অনুরূপভাবে, **যে-বিক্রিয়কের এক বা একাধিক পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বাড়ে তাকে বিজারক বলে এবং বিক্রিয়কটির যে-রাসায়নিক পরিবর্তন হয় সেটিকে জারণ বলে।**

7.8 নং উদাহরণঃ $HNO_3+H_2S=NO+S+H_2O$; এই বিক্রিয়ায় কোন্‌টি জারক আর কোন্‌টি বিজারক?

সমাধানঃ 7.6 নং গাণিতিক উদাহরণের সমাধানে দেখা যাচ্ছে যে, এই বিক্রিয়ায় N-এর জারণ-সংখ্যা কমেছে $(+V \rightarrow +II)$ আর S-এর জারণ-সংখ্যা বেড়েছে $(-II \rightarrow 0)$।

$\therefore$ এক্ষেত্রে HNO_3 একটি জারক পদার্থ এবং H_2S একটি বিজারক পদার্থ।

(iii) **জারক ও বিজারকের তুল্যাঙ্ক ও গ্রাম-তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ঃ** বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ায় বিজারক ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয় এবং জারক সেই ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়। ওজন হিসাবে যতটা জারক 1 মোল ইলেকট্রন গ্রহণ করে সেই পরিমাণকেই **জারকের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে। আবার, ওজন হিসাবে যতটা বিজারক 1 মোল ইলেকট্রন দান করতে পারে সেই পরিমাণকেই **বিজারকের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক** বলে।

বিক্রিয়াকালে কোনো জারকের সংকেত-এককের এক বা একাধিক সক্রিয় পরমাণুর যত একক জারণ-সংখ্যা কমে ততগুলি ইলেকট্রন সংকেত-এককের ন্যায় রাসায়নিক কণাটি গ্রহণ করতে পারে। ধরা যাক্‌, কোনো সংকেত-একক 'n' সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে। অর্থাৎ বিক্রিয়ায় জারকটির কোনো ধরনের পরমাণুর জারণ-সংখ্যা n-একক কমে।

সুতরাং, 'n' সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করে যৌগের এক সংকেত-একক

বা, $n \times 6 \cdot 023 \times 10^{23}$ ইলেকট্রন গ্রহণ করে যৌগের $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ টি সংকেত-একক

বা, n মোল ইলেকট্রন গ্রহণ করে যৌগের 1 মোল সংকেত-একক

$\therefore$ 1 মোল ইলেকট্রন গ্রহণ করে যৌগের $\frac{1}{n}$ মোল সংকেত-একক

আবার, 1 মোল সংকেত-একক হল এক গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ জারক

$\therefore$ $\frac{1}{n}$মোল সংকেত-একক হল $\frac{1}{n}$গ্রাম-সংকেত-গুরুত্বের পরিমাণ জারক,

সুতরাং, কোনো জারকে সক্রিয় পরমাণুর যদি মোট n-একক জারণ-সংখ্যা কমে তাহলে জারকটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক$=\frac{\text{গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব (জারকের)}}{n}$

অনুরূপভাবে, যদি কোনো বিজারকের সক্রিয় পরমাণুর জারণ-সংখ্যা মোট n একক বাড়ে তাহলে বিজারকের একটি সংকেত-একক n সংখ্যক ইলেকট্রন দান করবে এবং বিজারকটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক$=\frac{\text{গ্রাম-সংকেত-গুরুত্ব (বিজারকের)}}{n}$

উপরিউক্ত গ্রাম-তুল্যাঙ্ক দুটি থেকে গ্রাম-একক বাদ দিলে পদার্থ দুটির তুল্যাঙ্ক পাওয়া যায়।

7.9 নং উদাহরণ : ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড (MnO_2) এবং হাইড্রো-ক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ম্যাঙ্গানাস ক্লোরাইড ($MnCl_2$) তৈরী হয়। এই বিক্রিয়ায় MnO_2 একটি জারক। এটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক কত?

(a) **প্রয়োজনীয় তথ্য :** MnO_2-এর সংকেত-গুরুত্ব, MnO_2-এর কোন্‌টি সক্রিয় পরমাণু এবং সক্রিয় পরমাণুর জারণ-সংখ্যার কত একক কমছে।

(b) **সমাধানের পথ :** (i) পারমাণবিক গুরুত্বের ছক থেকে MnO_2-এর সংকেত-গুরুত্ব নির্ণয়।

(ii) $MnO_2 \rightarrow MnCl_2$, এই বিক্রিয়ায় Mn সক্রিয় পরমাণু এবং এক সংকেত-একক MnO_2-তে Mn-এর একটি পরমাণু আছে। এখন, MnO_2-এর সংকেত-গুরুত্বকে Mn-এর দুটি জারণ-সংখ্যার পার্থক্য দিয়ে ভাগ করতে হবে।

গাণিতিক সমাধান : MnO_2-এর সংকেত-গুরুত্ব$=54{\cdot}93+2\times15{\cdot}99$

$=86{\cdot}91$

MnO_2-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা ধরি x। অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা, —II

সুতরাং, MnO_2-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা$=+$IV

আবার, $MnCl_2$-তে Mn-এর জারণ-সংখ্যা$=+$II

এখন $MnO_2 \rightarrow MnCl_2$, এই পরিবর্তনে Mn-এর জারণ-সংখ্যার হ্রাস $= +4-(+2)$ বা 2 একক।

অতএব, MnO_2-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক$=\frac{86 \cdot 91}{2}$ g বা 43·455 g

কোনো কোনো বিক্রিয়ায় দেখা যায় যে, জারক পদার্থ এবং বিজারক পদার্থ এক এবং অভিন্ন, অর্থাৎ একই পদার্থের খানিকটা জারিত হয় এবং আর খানিকটা বিজারিত হয়, এইরূপ বিক্রিয়াকে **ডিসমিউটেশন** বা **ডিসপ্রপোরশনেশন** (Dismutation or disproportionation) বিক্রিয়া বলে।

যেমন, $P+3P+3NaOH+3H_2O=PH_3+3NaH_2PO_2$

এখানে ফসফরাসের এক মোল-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা 0 থেকে $-$III-এ এবং 3 মোল-পরমাণুর 0 থেকে$+$I-এ পরিবর্তন হয়েছে। প্রথমটি ফসফরাসের বিজারণ ও শেষেরটি জারণ ক্রিয়া। সুতরাং, এটি একটি ডিসমিউটেশন বা ডিসপ্রপোরশনেশন বিক্রিয়া।

(iv) জারণ-সংখ্যার দ্বারা বিজারণ-জারণ বিক্রিয়াকে সমীকরণ আকারে প্রকাশ করার পদ্ধতি : যে-সমস্ত জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় কোনো আয়ন তৈরী হয় না সেগুলি জারণ-সংখ্যার দ্বারা খুব সহজেই সমীকরণ আকারে প্রকাশ করা যায়। আবার, আয়নীয় (Ionic) বিক্রিয়াকেও জারণ-সংখ্যার দ্বারা সমীকরণ আকারে লেখা যায়। তাই এই পদ্ধতি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

আমরা রাসায়নিক সমীকরণে সাধারণতঃ ভরের সমতা রক্ষা করি, কিন্তু বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ায় বিভিন্ন পরমাণুর উপর নির্দিষ্ট বিদ্যুৎ-আধানের পরিবর্তন হয় বলে এই বিক্রিয়ার সমীকরণে ভর ও বিদ্যুৎ-আধান উভয়েরই সমতা রক্ষা করতে হয়। যে-কোনো পরমাণুর বিদ্যুৎ-আধানের বৃদ্ধি বা হ্রাস আমরা পরমাণুটির জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি বা হ্রাস থেকে বুঝতে পারি। আবার, যে-কোনো পরমাণুর জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি মানে পরমাণুটির ইলেক্ট্রন দান করা এবং জারণ-সংখ্যার হ্রাস মানে পরমাণুটির ইলেক্ট্রন গ্রহণ করা বোঝায়, সুতরাং, এই পদ্ধতিতে সমীকরণ লেখার ব্যাপারে ইলেক্ট্রনের একটি বিশেষ ভূমিকা আছে। বস্তুতঃ ইলেক্ট্রন যোগ বিয়োগ করেই জারণ-সংখ্যার হ্রাসবৃদ্ধির সমতা রক্ষা করা হয়।

অনেক ক্ষেত্রেই বিজারণ-জারণ বিক্রিয়া সম্পর্কে খুব কম তথ্য জানা থাকে এই সব বিক্রিয়াকে তাই সমীকরণ আকারে প্রকাশ করা খুবই কঠিন হয়। নীচে

কতকগুলি পর্যায় (steps) ক্রমানুসারে লেখা হল। এগুলি বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখার ব্যাপারে বিশেষভাবে সহায়ক।

(i) কোন্‌গুলি বিক্রিয়ক ও কোন্‌গুলি বিক্রিয়াজাত পদার্থ তা জানা।

(ii) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলিকে সংকেত-এককের সাহায্যে '=' চিহ্নের যথাক্রমে বাঁদিকে এবং ডানদিকে লেখা হয়।

(iii) বিক্রিয়ক পদার্থের সক্রিয় পরমাণুর জারণ-সংখ্যা নির্দিষ্ট করা প্রয়োজন। জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি লক্ষ্য করে কোন্‌টি জারক এবং কোন্‌টি বিজারক তা নির্দিষ্ট করা হয়।

(iv) জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন গণনা করে জারকের প্রতি সংকেত-এককের সঙ্গে কতগুলি ইলেকট্রন যোগ করতে হবে এবং বিজারকের প্রতি সংকেত-এককের থেকে কতগুলি ইলেকট্রন বিয়োগ করতে হবে তা নির্দিষ্ট করা হয়।

(v) ইলেকট্রনের সংখ্যাগুলির সাহায্যে জারক ও বিজারকের তুল্যাঙ্ক মাত্রা নির্ণয় করা হয়।

(vi) জারক ও বিজারক 1 : 1 তুল্যাঙ্কমাত্রায় বিক্রিয়া করে বলে তুল্যাঙ্ক অনুপাত থেকে জারক ও বিজারকের মোল—মোল অনুপাত নির্দিষ্ট করা হয়।

(vii) জারক ও বিজারকের মোলীয় (Molar) অনুপাত থেকে সমীকরণে লিখিত জারক ও বিজারকের সংকেত-এককের সহগ (Co-efficient) নির্দিষ্ট করে (ii) নং পর্যায়ে লিখিত ব্যবস্থাটি সহগ সহ পুনরায় লিখতে হয়, পরে অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন বাদে অন্য পরমাণুর সংখ্যা '=' চিহ্নের উভয়দিকে সমান করতে হয়।

(viii) এখন '=' চিহ্নের উভয়দিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা গণনা করে যেদিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা কম হয় সেইদিকে প্রতি একটি অক্সিজেন পরমাণুর জন্য একটি H_2O লিখতে হয়।

(ix) এরপর '=' চিহ্নের উভয়দিকে হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা গণনা করে যেদিকে হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা কম সেইদিকে H^+ যুক্ত করে উভয়দিকে হাইড্রোজেন পরমাণুর সমতা আনা হয়।

(x) বিক্রিয়াটি যদি অ্যাসিডিক মাধ্যমে সম্পন্ন হয় তাহলে প্রত্যেক H^+-কে H_3O^+-এ পরিণত করতে হয়। কাজেই '=' চিহ্নের দুইদিকেই সমান সংখ্যক H_2O যোগ করতে হয়।

(xi) বিক্রিয়াটির মাধ্যম যদি ক্ষারকীয় (Basic) হয় তাহলে প্রত্যেকটি

H^+ আয়নকে H_2O-তে পরিণত করতে হয়। কাজেই '=' চিহ্নের উভয় দিকে সমান সংখ্যক OH^-আয়ন যুক্ত করতে হয়।

(xii) '=' চিহ্নের উভয় দিকে যদি একই সংকেত-একক লেখা হয়ে থাকে তাহলে সেগুলি কেটে দিতে হবে।

যে-কোনো বিজারণ-জারণ বিক্রিয়াতেই এতগুলি পর্যায়ের প্রয়োজন হয় না।

উদাহরণ (a) : $KI+H_2O_2=KOH+I_2$; এটি সম্পূর্ণ কর।

(i) আয়োডিন পরমাণুর জারণ-সংখ্যা KI ও I_2-তে যথাক্রমে —I এবং '0'। সুতরাং, I-এর জারণ-সংখ্যা 1 একক বেড়েছে। H_2O_2 এবং KOH -এ O-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে—I ও—II হয়। কাজেই, এক্ষেত্রে O-এর জারণ-সংখ্যা [—1—(—2)] বা 1 একক কমেছে। অতএব, এই বিক্রিয়ায় KI একটি বিজারক পদার্থ আর H_2O_2 একটি জারক পদার্থ।

(ii) KI-এ একটি আয়োডিন পরমাণু আছে এবং I-এর জারণ-সংখ্যা 1 একক বেড়েছে। সুতরাং, KI-এর থেকে 1টি ইলেক্ট্রন বিয়োগ করতে হবে। আবার H_2O_2-এর সংকেত এককে 2টি অক্সিজেন পরমাণু আছে এবং অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যার হ্রাস 1 একক। সুতরাং, H_2O_2-এর সঙ্গে 2টি ইলেক্ট্রন যোগ করতে হবে।

$$KI\ (-e)\ +H_2O_2\ (+2e)=KOH+I_2$$

(iii) এক্ষেত্রে বিজারকের তুল্যাঙ্ক মাত্রা $=\frac{KI}{}$

$$\text{এবং জারকের তুল্যাঙ্কমাত্রা } =\frac{H_2O_2}{2}$$

(iv) সুতরাং, $\frac{KI}{1}=\frac{H_2O_2}{2}$ বা $\frac{KI}{H_2O_2}=\frac{1}{2}$

অর্থাৎ, 1 সংকেত-একক H_2O_2 বিক্রিয়া করে 2 সংকেত-একক KI-এর সঙ্গে। সুতরাং, প্রদত্ত সমীকরণে H_2O_2 এবং KI-এর সহগ হবে যথাক্রমে 1 ও 2। এখন প্রদত্ত সমীকরণটি হল :

$$2KI+H_2O_2=KOH+I_2 \qquad \ldots(1)$$

এখন, '=' চিহ্নের বাঁদিকে দুটি পটাসিয়াম-পরমাণু আছে অথচ ডানদিকে আছে এক পরমাণু পটাসিয়াম। সুতরাং, 1 নং সমীকরণকে লেখা যায় :

$$2KI+H_2O_2=2KOH+I_2 \qquad \cdots(2)$$

লক্ষ্য করে দেখা যাচ্ছে যে, সমীকরণটির উভয়দিক সম্পূর্ণরূপে সমান। সুতরাং, প্রদত্ত সমীকরণের পূর্ণাঙ্গরূপ হল

$$2KI+H_2O_2=2KOH+I_2$$

উদাহরণ (b) : অ্যামোনিয়ার দহনের ফলে নাইট্রিক অক্সাইড ও জল উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াটিকে পূর্ণ সমীকরণ আকারে প্রকাশ কর।

(i) অ্যামোনিয়া ও অক্সিজেন বিক্রিয়ক এবং নাইট্রিক অক্সাইড ও জল বিক্রিয়াজাত পদার্থ।

(ii) $$NH_3+O_2=NO+H_2O \quad \ldots(1)$$

(iii) NH_3-তে N-এর জারণ-সংখ্যা —III এবং NO-তে এটির জারণ-সংখ্যা +II হয়। O_2-তে এবং H_2O-তে O-এর জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে '0' (শূন্য) এবং —II হয়। এক্ষেত্রে N-এর জারণ-সংখ্যা [2—(—3)] বা 5 একক বেড়েছে এবং O-এর জারণ-সংখ্যা [0—(—2)] বা 2 একক কমেছে। সুতরাং, এই বিক্রিয়ায় NH_3 বিজারক এবং O_2 জারক পদার্থ।

(iv) NH_3-এর সংকেত-এককে একটি নাইট্রোজেন পরমাণু আছে এবং নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি 5 একক। সুতরাং, NH_3-এর সংকেত-একক থেকে 5টি ইলেক্ট্রন বিয়োগ করতে হবে। আবার, অক্সিজেনের সংকেত-এককে 2টি অক্সিজেন পরমাণু আছে এবং অক্সিজেনের একটি পরমাণুর জারণ-সংখ্যার হ্রাস হল 2 একক। সুতরাং, অক্সিজেনের প্রতি সংকেত-এককের জন্য 4 একক জারণ-সংখ্যার হ্রাস হবে। অর্থাৎ অক্সিজেনের সংকেত-এককের সঙ্গে 4টি ইলেকট্রন যোগ করতে হবে।

$$NH_3\ (-5e)\ +O_2(+4e)=NO+H_2O$$

(v) এক্ষেত্রে বিজারকের তুল্যাঙ্কমাত্রা $=\frac{NH_3}{5}$

এবং জারকের তুল্যাঙ্কমাত্রা $=\frac{O_2}{4}$

(vi) সুতরাং, $\frac{NH_3}{5}=\frac{O_2}{4}$ বা, $\frac{NH_3}{O_2}=\frac{5}{4}$। অর্থাৎ প্রতি 5 সংকেত একক অক্সিজেনের জন্য 4 সংকেত-একক অ্যামোনিয়া প্রয়োজন হয়। এখন অ্যামোনিয়া ও অক্সিজেনের সহগ যথাক্রমে 4 ও 5 ধরে 1 নং সমীকরণটি হল :

$$4NH_3+5O_2=NO+H_2O \quad \ldots(2)$$

'=' চিহ্নের বাঁদিকে 4 পরমাণু নাইট্রোজেন আছে কিন্তু ডানদিকে একটি নাইট্রোজেন পরমাণু আছে। তাই 2 নং সমীকরণকে পুনরায় লেখা যায় :

$$4NH_3+5O_2=4NO+H_2O \quad \ldots(3)$$

(vii) 3নং সমীকরণে '=' চিহ্নের বাঁদিকে 10টি অক্সিজেন পরমাণু আছে কিন্তু এটির ডানদিকে আছে মাত্র 5টি অক্সিজেন পরমাণু। সুতরাং,

ডানদিকে আরও 5টি অক্সিজেন পরমাণু $5H_2O$ হিসাবে যুক্ত করে লেখা যায়ঃ

$$4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$$

এক্ষেত্রে দেখা যাচ্ছে যে, '=' চিহ্নের উভয় দিকে হাইড্রোজেনের সংখ্যা সমান হ'য়ে আছে।

সুতরাং, প্রদত্ত বিক্রিয়াটির পূর্ণ সমীকরণ হল ঃ

$$4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$$

উদাহরণ (c) ঃ SO_2+MnO_4' (অ্যাসিডিক) $=Mn^{++}+H_2SO_4$ এই সমীকরণটি সম্পূর্ণ কর।

(i) SO_2-তে এবং H_2SO_4-এ S-এর জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে +IV ও +VI হয়। এক্ষেত্রে S-এর জারণ-সংখ্যা 2 একক বেড়েছে। আবার, MnO_4'-এ এবং Mn^{++}-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা যথাক্রমে +VI ও +II হয়। সুতরাং, এই বিক্রিয়ায় SO_2 বিজারক এবং MnO_4' জারক ধর্ম প্রকাশ করেছে।

(ii) SO_2-এর সংকেত-এককে একটি সালফার পরমাণু আছে এবং S-এর জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি 2 একক। সুতরাং, SO_2-এর সংকেত-একক থেকে 2টি ইলেক্ট্রন বিয়োগ করতে হবে। আবার MnO'_4-এর সংকেত-এককে একটি Mn পরমাণু আছে এবং এর জারণ-সংখ্যার হ্রাস 5 একক। অতএব MnO_4'-এর সংকেত-এককের সঙ্গে 5টি ইলেক্ট্রন যোগ করতে হবে। অতএব প্রদত্ত সমীকরণ ঃ

$$SO_2\ (-2e)+MnO_4'\ (+5e)=Mn^{++}+H_2SO_4$$

(iii) এক্ষেত্রে বিজারকের তুল্যাঙ্ক মাত্রা $=\frac{SO_2}{2}$

এবং জারকের তুল্যাঙ্ক মাত্রা $=\frac{MnO'_4}{5}$

(iv) সুতরাং, $\frac{SO_2}{2}=\frac{MnO_4^-}{5}$ বা $\frac{SO_2}{MnO_4^-}=\frac{2}{5}$

অর্থাৎ, দুটি সংকেত-একক MnO'_4-এর জন্য 5 সংকেত-একক SO_2 দরকার হয়। অতএব, SO_2 এবং MnO_4'-এর সহগ যথাক্রমে 5 এবং 2 ধরে প্রদত্ত সমীকরণটিকে লেখা যায় ঃ

$$5SO_2+2MnO_4^-=Mn^{++}+H_2SO_4$$

'=' চিহ্নের বাঁদিকে সালফার পরমাণু 5টি কিন্তু ডানদিকে এটির সংখ্যা

একটি। আবার, বাঁদিকে Mn-এর 2টি পরমাণু কিন্তু ডানদিকে Mn পরমাণুর সংখ্যা একটি। কাজেই,

$$5SO_2+2MnO^-_4=2Mn^{++}+5H_2SO_4 \quad \cdots(1)$$

(v) এখন, 1 নং সমীকরণে '=' চিহ্নের ডানদিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা 20টি কিন্তু বাঁদিকে এটির সংখ্যা 18টি। সুতরাং, বাঁদিকে আরও 2টি অক্সিজেন পরমাণুর জন্য $2H_2O$ যোগ করতে হবে।

$$5SO_2+2MnO_4^-+2H_2O=2Mn^{++}+5H_2SO_4 \quad \ldots(2)$$

(iv) এখন 2 নং সমীকরণে সমান চিহ্নের ডানদিকে হাইড্রোজেনের 10টি পরমাণু আছে কিন্তু বাঁদিকে তা আছে 4টি। সুতরাং, '=' চিহ্নের বাঁদিকে $6H^+$ আয়ন যুক্ত করতে হবে।

$$5SO_2+2MnO_4^-+2H_2O+6H^+=2Mn^{++}+5H_2SO_4$$

(vii) বিক্রিয়াটির মাধ্যম অ্যাসিডিক বলে '=' চিহ্নের উভয়দিকে $6H_2O$ যোগ করতে হবে এবং বাঁদিকে $6H^+$-এর পরিবর্তে $6H_3O^+$ ($6H^+ + 6H_2O=6H_3O^+$) লিখতে হবে।

$$5SO_2+2MnO^-_4+2H_2O+6H_3O^+=2Mn^{++}+5H_2SO_4+6H_2O$$

(viii) এখন '=' চিহ্নের উভয় দিক থেকে $2H_2O$ কেটে দিলে নির্ণেয় পূর্ণ সমীকরণ পাওয়া যায় এবং তা হল :

$$5SO_2+2MnO_4^-+6H_3O^+=2Mn^{++}+5H_2SO_4+4H_2O$$

উদাহরণ : (d) $Zn+NO_3'=ZnO''_2+NH_3$; এই বিক্রিয়াটি পূর্ণ সমীকরণ আকারে প্রকাশ কর। বিক্রিয়াটি ক্ষারকীয় মাধ্যমে সম্পন্ন হয়।

(i) প্রদত্ত সমীকরণে Zn-এর জারণ-সংখ্যা Zn-এ এবং ZnO_2''-এ যথাক্রমে '0' ও +II হয়। এক্ষেত্রে Zn-এর জারণ-সংখ্যা 2একক বেড়েছে। আবার, NO_3^- থেকে NH_3-তে N-এর জারণ-সংখ্যা 8 একক কমেছে। সুতরাং, এই বিক্রিয়ায় Zn হল বিজারক আর NO_3^- হল জারক।

(ii) Zn-এর সংকেত-এককে একটি Zn পরমাণু আছে এবং জিঙ্কের জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি 2 একক। সুতরাং, Zn-এর সংকেত-একক থেকে 2টি ইলেকট্রন বিয়োগ করতে হবে। আবার, NO_3^--এর সংকেত-এককে একটি নাইট্রোজেন পরমাণু আছে এবং N-এর জারণ-সংখ্যার হ্রাস 8 একক। সুতরাং, NO_3^--এর সংকেত-এককের সঙ্গে 8টি ইলেকট্রন যোগ করতে হবে।

$$Zn\ (-2\dot{e})\ +NO_3^-\ (+8e)\ =ZnO_2^{=}+NH_3$$

(iii) এক্ষেত্রে বিজারকের তুল্যাঙ্কমাত্রা $=\frac{Zn}{2}$

এবং জারকের তুল্যাঙ্কমাত্রা $=\frac{NO_3^-}{8}$

(iv) সুতরাং, $\frac{Zn}{2}=\frac{NO_3^-}{8}$ বা, $\frac{Zn}{NO_3^-}=\frac{2}{8}$ বা $\frac{1}{4}$, অর্থাৎ প্রতি এক সংকেত-একক NO_3^--এর জন্য 4 সংকেত-একক Zn দরকার হয়। NO_3^- এবং Zn-এর সহগ যথাক্রমে 1 এবং 4 হয়। এখন প্রদত্ত সমীকরণটি নীচের মতো লেখা যায়ঃ

$$4\,Zn+NO_3^-=ZnO''_2+NH_3 \qquad ...(1)$$

'=' চিহ্নের বাঁদিকে 4টি জিঙ্কের পরমাণু আছে কিন্তু ডান দিকে একটি জিঙ্ক পরমাণু আছে। সুতরাং, 1 নং সমীকরণকে পুনরায় লেখা যায়ঃ

$$4\,Zn+NO_3^-=4\,ZnO''_2+NH_3 \qquad ...(2)$$

(v) এখন 2 নং সমীকরণে '=' চিহ্নের ডানদিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা 8টি। কিন্তু বাঁদিকে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা 3টি। তাই বাঁদিকে $5H_2O$ যোগ করতে হবে। অর্থাৎ, 2 নং সমীকরণটি নতুনভাবে লেখা যায়ঃ

$$4\,Zn+NO_3^-+5H_2O=4\,ZnO''_2+NH_3 \qquad ...(3)$$

(vi) এখন 3 নং সমীকরণে '=' চিহ্নের বাঁদিকে হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা 10টি কিন্তু ডানদিকে 3টি। সুতরাং, ডানদিকে $7H^+$ যোগ করতে হবে। অতএব, 3 নং, সমীকরণকে লেখা যায়ঃ

$$4\,Zn+NO_3^-+5H_2O=4\,ZnO_2^{=}+NH_3+7H^+ \qquad ...(4)$$

(vii) কিন্তু বিক্রিয়াটি ক্ষারকীয় মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। সুতরাং, বিক্রিয়াজাত পদার্থের দিকে $7H^+$ আয়নকে $7OH^-$ আয়ন দ্বারা প্রশমিত করে 7টি জল অণুতে পরিণত করতে হবে। ফলে '=' চিহ্নের উভয়দিকে $7OH^-$-আয়ন যোগ করে 4 নং সমীকরণকে নীচের মতো লেখা হলঃ

$$4\,Zn+NO_3^-+5H_2O+7OH^-=4\,ZnO_2''+NH_3+7H_2O \;...(5)$$

(viii) এখন '=' চিহ্নের দুই দিকেই কমপক্ষে $5H_2O$ আছে। সুতরাং, $5H_2O$ উভয় দিক থেকে বিয়োগ করে প্রদত্ত সমীকরণের পূর্ণাঙ্গরূপ পাওয়া যায়। সেটি হলঃ

$$4\,Zn+NO_3^-+7OH^-=4\,ZnO_2''+NH_3+2H_2O$$

বিজারণ-জারণ ক্রিয়া ও প্রশমন ক্রিয়াঃ উভয় বিক্রিয়ার ভিত্তি ইলেকট্রনের বিনিময়। তবে প্রশমন ক্রিয়ায় ইলেকট্রনের বিনিময় ঘটলেও

যৌগস্থিত বিভিন্ন পরমাণুর বিদ্যুৎ-আধানের হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটে না। কিন্তু বিজারণ-জারণ ক্রিয়ায় তা ঘটে। অর্থাৎ, বিজারণ-জারণ ক্রিয়ায় পদার্থের মৌলিক উপাদানের জারণ-সংখ্যা পরিবর্তিত হয় কিন্তু প্রশমন ক্রিয়ায় কোনো পদার্থের মৌলিক উপাদানের জারণ-সংখ্যা বদলায় না। যেমন,

$$HNO_3+NaOH=NaNO_3+H_2O$$

বিক্রিয়ার আগে এবং পরে Na, H, O এবং N-এর জারণ-সংখ্যা অপরিবর্তিত আছে।

7.6 প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব (Standard electrode potential) :

যখন কোনো ধাতুর দণ্ডকে ঐ ধাতুর লবনের দ্রবণে (জলীয় বা অ্যাসিডিক) ডোবানো হয় তখন দুটি ঘটনা ঘটার প্রবণতা দেখা যায় :

(1) ধাতব দণ্ড থেকে ধাতু আয়নিত হয়ে দ্রবণে আসতে চায়।

(2) লবণ থেকে ধাতব আয়ন (ক্যাটায়ন) ঐ ধাতুর দণ্ডে সঞ্চিত হতে চায়।

যদি প্রথম ঘটনাটি ঘটে তাহলে ধাতু-দণ্ডটিতে ইলেক্ট্রন অর্থাৎ নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান সঞ্চিত হয় এবং দ্রবণে ধাতব আয়ন (ক্যাটায়ন) আসার জন্য তা পজিটিভ বিদ্যুৎ-আধান লাভ করে। কারণ, ধাতবদণ্ড বিদ্যুৎ-আধানহীন এবং লবণ-দ্রবণে পজিটিভ ও নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান সমান সংখ্যায় থাকে।

একই কারণে যদি দ্বিতীয় ঘটনাটি ঘটে তাহলে দণ্ডে পজিটিভ বিদ্যুৎ-আধান সঞ্চিত হয় এবং দ্রবণটিতে আপেক্ষিকভাবে নেগেটিভ বিদ্যুৎ-আধান বাড়ে।

যে-কোনো ধাতুর ক্ষেত্রে উপরিউক্ত দুটি ঘটনার যে-কোনো একটি সংঘটিত হয়। উভয় ক্ষেত্রেই দেখা যাচ্ছে যে, ধাতু-দণ্ড ও দ্রবণ উভয়েই বিশেষভাবে বিদ্যুৎ-আধানবিশিষ্ট হচ্ছে। ফলে উভয়েই বিদ্যুৎ দান বা গ্রহণ করার মতো একটি বৈদ্যুতিক অবস্থায় পৌঁছায়। কোনো বিদ্যুৎ-আধানযুক্ত পরিবাহীর (ইলেক্ট্রনীয় বা বিদ্যুৎ-বিশ্লেষ্য) বিদ্যুৎ দান বা গ্রহণ করার মতো যে বৈদ্যুতিক অবস্থা তাকেই পরিবাহীটির **বিদ্যুৎ-বিভব (Electric potential)** বলে। ধাতু-দণ্ডটির ও দ্রবণটির বিদ্যুৎ-বিভব ভিন্ন হয় বলে উভয়ের মধ্যে একটি **বৈদ্যুতিক বিভব-পার্থক্য (Electrical potential difference)** গড়ে ওঠে। আবার, কোনো ধাতুর আয়ন পরিবেষ্টিত ঐ ধাতুর দণ্ডকে বৈদ্যুতিক কোষে বিদ্যুৎ-দ্বার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। তাই ধাতু-দণ্ড ও তার আয়নের বৈদ্যুতিক বিভব-পার্থক্যকে ধাতুটির **বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব (Electrode Potential)** বলে।

কোনো ধাতুর বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব সোজাসুজি মাপা যায় না। তাই কোনো ধাতুর বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব মাপার জন্য ধাতুটির একটি দণ্ডকে নিয়ে বৈদ্যুতিক কোষ তৈরী করা হয়। 1 atm চাপে ও 25°C উষ্ণতায় একক সক্রিয় গাঢ়ত্বের (Unit activity) ধাতব আয়ন পরিবেষ্টিত ধাতু-দণ্ডটিকে একটি বিদ্যুৎ-দ্বার করা হয়। অপর বিদ্যুৎ-দ্বার হিসাবে ব্যবহৃত হয় 1 atm চাপে ও 25°C উষ্ণতায় হাইড্রোজেন গ্যাস দ্বারা সংপৃক্ত একক সক্রিয় গাঢ়ত্বের হাইড্রোজেন আয়নের দ্রবণে আংশিকভাবে ডোবানো প্লাটিনামের পাত (হাইড্রোজেন বিদ্যুৎ-দ্বার)। এই বিদ্যুৎ-কোষটির বিদ্যুৎ-চালক বল (Electromotive force, i.e. e. m. f.) পোটেন্সিয়মিটার যন্ত্রের সাহায্যে পরিমাপ করা হয়। আবার, যে-কোনো কোষের e. m. f. হল বিদ্যুৎ-দ্বার দুটির বৈদ্যুতিক বিভব-পার্থক্যের বীজগাণিতিক যোগফল। সুতরাং, হাইড্রোজেন বিদ্যুৎ-দ্বারের বিভবের মান জানা থাকলে ধাতুটির বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব সহজেই নির্ণয় করা যায়। এখন, যদি হাইড্রোজেন বিদ্যুৎ-দ্বারের বিভব 0·00 volt ধরে নেওয়া হয় তাহলে কোষটির e. m. f. এবং ধাতুর বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব সমান হয় এবং এটিকে ধাতুর প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব বলে। সুতরাং, **হাইড্রোজেন বিদ্যুৎ-দ্বারের বিভবকে 0·00 volt ধরে এটির সাপেক্ষে একক সক্রিয় গাঢ়ত্বের কোনো ধাতব আয়ন পরিবেষ্টিত ঐ ধাতুর বিদ্যুৎ-দ্বারের বিভবকে ধাতুটির প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব বলে।** 191 পৃষ্ঠায় কতকগুলি ধাতুর প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভবকে নিম্নতর মান অনুযায়ী সাজিয়ে একটি সারিতে লিপিবদ্ধ করা হল। এই সারিতে উপরদিক থেকে নীচের দিকে ক্রমশ ধাতুগুলির বিজারণ-ধর্ম কমে বলে আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে এই বিভবকে **বিজারণ-বিভব** বলে। এই পদ্ধতিতে জারণ-বিভবের মান পেতে হলে কেবল বিজারণ-বিভবের মানের চিহ্ন পাল্টে দিতে হয়।

প্রমাণ বিদ্যুৎ-বিভব পরিমাপের জন্য যে বৈদ্যুতিক কোষ তৈরী করা হয় তাতে বিজারণ-জারণ বিক্রিয়া সংঘটিত হয়। উপরিউক্ত সারিতে যে-সব ধাতুর স্থান হাইড্রোজেনের উপরে সেগুলি বিদ্যুৎ-কোষে বিজারকের কাজ করে অর্থাৎ ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়। অপরদিকে H^+-আয়ন সেই ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিজে বিজারিত হয়, অর্থাৎ জারকের কাজ করে। যেমন,

$$Zn - 2e = Zn^{++}$$
$$2H^+ + 2e = H_2$$
$$\overline{Zn + 2H^+ = Zn^{++} + H_2}$$

ধাতুগুলির প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব বা বিজারণ-বিভব (আন্তর্জাতিক পদ্ধতি)

বিদ্যুৎ-দ্বার	বিদ্যুৎ-দ্বারা-বিভব
Li^+/Li	−3·04
K^+/K	−2·92
Ca^{+2}/Ca	−2·87
Na^+/Na	−2·71
Mg^{+2}/Mg	−2·34
Al^{+3}/Al	−1·67
Mn^{+2}/Mn	−1·05
Zn^{+2}/Zn	−0·76
Cr^{+3}/Cr	−0·71
Fe^{+2}/Fe	−0·40
Sn^{+2}/Sn	−0·14
Pb^{+2}/Pb	−0·13
H^+/H_2	0·00
Hg_2^{+2}/Hg	+0·207
Cu^{+2}/Cu	+0·34
Ag^+/Ag	+0·78
Au^{+2}/Au	+1·38

6.5 নং ছক

পক্ষান্তরে এই সারিতে হাইড্রোজেনের নীচে যে-সব ধাতু আছে সেগুলির বিদ্যুৎ-দ্বার বৈদ্যুতিক কোষে জারকের কাজ করে এবং হাইড্রোজেন বিজারকের কাজ করে। যেমন,

$$H-e=H^+$$
$$Ag^++e=Ag$$
$$H+Ag^+=H^++Ag$$

এইরূপ বিজারণ-জারণ বিক্রিয়ার জন্য বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব হয় বলে ধাতুগুলির বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভবকে **বিজারণ-জারণ-বিভব** ((Redox-potential) বলে।

7.7 ধাতুগুলির বিদ্যুৎ-বিভবসারি বা বিদ্যুৎ-রাসায়নিক সারি (Electro-potential or electro-chemical series for metals) : নিজস্ব প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব অনুসারে ধাতুগুলিকে সাজিয়ে যে সারি পাওয়া যায় তাকেই ধাতুগুলির বিদ্যুৎ-বিভবসারি বা বিদ্যুৎ-রাসায়নিক সারি বলে। আবার, প্রত্যেকটি ধাতুর এবং

হাইড্রোজেনের ইলেকট্রন ত্যাগ করে ক্যাটায়নে পরিণত হওয়ার প্রবণতার জন্য **হাইড্রোজেন ও ধাতুগুলিকে পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী মৌল বলে।**

$M - ne = M^{+n}$; যেখানে $n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি সংখ্যা।

বিভিন্ন ধাতুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা সমান নয়। যে-ধাতুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা যত বেশী সেই ধাতু তত বেশী পজিটিভ বিদ্যুৎ-ধর্মী। বিদ্যুৎ-বিভবসারির উপরদিক থেকে নীচের দিকে যত আসা যায় ধাতুগুলির তত পজিটিভ বৈদ্যুতিক ধর্ম কমতে থাকে। তাই এই বিদ্যুৎ-বিভবসারিকে বিদ্যুৎ-পজিটিভ সারি (Electro-positive series) বলা যায়।

বিদ্যুৎ-বিভবসারি থেকে আমরা বিভিন্ন ধাতুর রাসায়নিক সক্রিয়তার (Chemical activity-র) একটি নির্দিষ্ট ধারণা পাই। সাধারণভাবে বলা যায় যে, সারিটির নীচের দিক থেকে উপরদিকে যত আসা যায় ততই ধাতুগুলির রাসায়নিক সক্রিয়তা বাড়ে। সুতরাং, উপরিউক্ত সারিতে লিথিয়াম সবচেয়ে সক্রিয় ধাতু এবং গোল্ড সবচেয়ে নিষ্ক্রিয় ধাতু। এই কারণেই সারিটির উপরদিকের ধাতুগুলিকে প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। কিন্তু সারির নীচের দিকের ধাতুগুলি (হাইড্রোজেনের নীচে যেগুলি) নিষ্ক্রিয় বলেই প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থাতেও পাওয়া যায়। এইভাবে দেখানো যেতে পারে যে, এই সারি ধাতুগুলির রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া সম্পর্কে একটি দিক নির্দেশক। নীচে এ সম্পর্কে কিছু আলোচনা করা হল :

(i) **অক্সিজেনের ক্রিয়া :** অক্সিজেনের ইলেকট্রনের প্রতি আকর্ষণ অত্যন্ত বেশী। আবার সারির উপর দিকের ধাতুগুলির ইলেকট্রন দানের প্রবণতাও বেশী তাই হাইড্রোজেনের উপর যে-সব ধাতুর স্থান সেগুলি বায়ুতে বা অক্সিজেনে উত্তপ্ত করলে অক্সাইড গঠন করে। লিথিয়াম, পটাসিয়াম ও সোডিয়াম খুব সহজেই বিক্রিয়া করে। কিন্তু সিলভার ও গোল্ডকে অক্সিজেনে উত্তপ্ত করলেও এগুলি অক্সাইড তৈরী হয় না। $2Mg + O_2 = 2MgO$

(ii) **জলের ক্রিয়া :** পটাসিয়াম, সোডিয়াম ইত্যাদি ধাতু খুব দ্রুত জলের বিক্রিয়ায় হাইড্রক্সাইডে পরিণত হয় এবং জল থেকে হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে। ক্যালসিয়াম ধীরে ধীরে জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং ম্যাগনেসিয়ামের বিক্রিয়া আরও ধীরে হয়। জিঙ্ক, আয়রন, আবার লোহিত তপ্ত অবস্থায় স্টীমকে (উত্তপ্ত জলীয় বাষ্পকে) বিয়োজিত করে। এই সব বিক্রিয়ায় জল অ্যাসিড-ধর্মী। সুতরাং, ধাতুগুলির **ক্ষারকীয় ধর্ম** এই বিক্রিয়ায় প্রকাশ পায়। সারিটির উপর দিক থেকে যত নীচের দিকে নামা যায় ততই

ধাতুগুলির ক্ষারকীয় ধর্ম কমতে থাকে। হাইড্রোজেনের নীচে যে-সব ধাতু আছে সেগুলি লোহিত তপ্ত অবস্থাতেও স্টীমকে বিয়োজিত করতে পারেনা।

$$2Na+2H_2O=2NaOH+H_2$$

(iii) **লঘু অ্যাসিডের ক্রিয়া**ঃ হাইড্রোজেনের থেকে বেশী বিদ্যুৎ-বিভবের ধাতুগুলি বেশী ক্ষারকীয় ধর্মসম্পন্ন হওয়ায় বিনা উত্তাপেই লঘু হাইড্রোক্লোরিক ও সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে। অথচ কপার, সিলভার, গোল্ড এইভাবে আদৌ বিক্রিয়া করেনা।

$$Zn+H_2SO_4=ZnSO_4+H_2$$

(iv) **ধাতব অক্সাইডগুলির স্থায়িত্ব** (**Stability**)ঃ উচ্চ বিদ্যুৎ-বিভবের ধাতুগুলি বেশী ইলেকট্রন-দানের প্রবণতার জন্য স্থায়ী অক্সাইড তৈরী করে। এইগুলি উত্তপ্ত করলে সহজে বিয়োজিত হয়না। আবার, এই অক্সাইডগুলির ক্ষারকীয় ধর্ম যথেষ্ট বলে বায়ুতে ফেলে রাখলে কার্বন-ডাইঅক্সাইড শোষণ করে এবং কার্বনেট লবণে পরিণত হয়। পক্ষান্তরে হাইড্রোজেনের অপেক্ষা কম বিদ্যুৎ-বিভবের ধাতুগুলির অক্সাইড উত্তাপের ফলে বিয়োজিত হয়। যেমন, মারকিউরিক অক্সাইড। আবার, কপার, লেড, আয়রনের অক্সাইডের উপর দিয়ে হাইড্রোজেন প্রবাহিত করে এগুলিকে মূল ধাতুতে ফিরিয়ে আনা যায়।

$$2Na+O_2=Na_2O\ ;\ Na_2O+CO_2=Na_2CO_3$$

$$2HgO=Hg+O_2\ ;\ CuO+H_2=Cu+H_2O$$

(v) **ধাতুর বিজারণ-জারণ ধর্ম**ঃ এই সারির উপর দিকের ধাতুগুলির ইলেকট্রন ছেড়ে দেওয়ার প্রবণতা বেশী হওয়ায় এইগুলি ভাল বিজারক এবং যত নীচের দিকে আসা যায় ধাতুগুলির বিজারণ ধর্ম তত কমে। এই কারণে কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণে আয়রন যুক্ত করলে তা বিজারিত হয় এবং ধাতব কপার অধঃক্ষিপ্ত হয়। পক্ষান্তরে সারির নীচের দিকের ধাতুগুলির জারণ-ধর্ম উপরের দিকের ধাতুগুলির জারণ ধর্মের থেকে বেশী। থারমিট পদ্ধতিতে ফেরিক অক্সাইড ধাতব অ্যালুমিনিয়ামের দ্বারা বিজারিত হয় এবং তা অ্যালুমিনিয়ামকে জারিত করে।

$$CuSO_4+Fe=FeSO_4+Cu$$

$$Al+Fe_2O_3=Al_2O_3+Fe$$

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ ঃ

1. টীকা লেখ ঃ জারণ, বিজারণ-জারণ ক্রিয়া, জারক, বিজারক, জারণ-সংখ্যা, প্রমাণ বিদ্যুৎ-দ্বার-বিভব, বিদ্যুৎ-বিভবসারি, ডিস্‌মিউটেশন্ বিক্রিয়া, ইলেক্‌ট্রোনেগেটিভিটি।

2. জারণ-সংখ্যা বলতে কি বোঝ ? জারণ-সংখ্যার গুরুত্ব বিশদভাবে আলোচনা কর।

3. নিম্নোক্ত ঘটনাগুলি ব্যাখ্যা কর ঃ

(i) জারণ ও বিজারণ একই সঙ্গে ঘটে।

(ii) বিজারণ-জারণ ক্রিয়ায় বিজারক জারিত হয় এবং জারক বিজারিত হয়।

(iii) জারণ-সংখ্যার হ্রাস মানে বিজারণ এবং জারণ-সংখ্যার বৃদ্ধি মানে জারণ।

(iv) জারণকালে জারকের কার্যকরী পরমাণুর জারণ-সংখ্যা কমে।

(v) বিজারণকালে বিজারকের কার্যকরী পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বাড়ে।

(vi) কপার, গোল্ড এবং সিলভার প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়।

(vii) লিথিয়াম, সোডিয়াম ও ক্যালসিয়াম কেবল যৌগ হিসাবে প্রকৃতিতে পাওয়া যায়।

(viii) তুঁতের জলীয় দ্রবণে ছুরির ফলা ডোবালে তাতে ধাতব কপার জমা হয়।

(ix) জিঙ্ক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। কিন্তু সিলভার ও উক্ত অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় তা হয় না।

(x) সোডিয়ামের টুকরো জলে দিলে তীব্র বিক্রিয়া ঘটে কিন্তু কপারের টুকরো জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

4. নিম্নলিখিত বিক্রিয়াগুলি কোন্ শ্রেণীর বল। বিজারণ-জারণ ক্রিয়ার অন্তর্গত বিক্রিয়াগুলির ক্ষেত্রে কোন্‌টি জারক আর কোন্‌টি বিজারক তা নির্দিষ্ট কর এবং সমীকরণটি সম্পূর্ণ কর ঃ

(i) $Sn + HNO_3 \longrightarrow SnO_2 + H_2O + NO_2$

(ii) $KI + H_2SO_4 \longrightarrow K_2SO_4 + I_2 + H_2S + H_2O$

(iii) $Ca_3(PO_4) + SiO_4 + \longrightarrow CaSiO_3 + P_4 + CO$

(iv) $NH_3 + HCl \longrightarrow NH_4Cl$

(v) $I_2 + HNO_3 \longrightarrow HIO_3 + N_2 + H_2O$

(vi) $H_2SO_4 + NaOH \longrightarrow Na_2SO_4 + H_2O$

(vii) $H_2S+KMnO_4+H_2SO_4 \longrightarrow K_2SO_4+MnSO_4+H_2O+S$

(viii) $H_2O_2+KMnO_4+H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4+O_2+H_2O+K_2SO_4$

(ix) $FeS_2+O_2 \longrightarrow Fe_2O_3+SO_2$

(x) $P_4+NaOH \longrightarrow PH_3+Na_2HPO_2$

5. জারণ-সংখ্যা ও যোজ্যতা কি সমার্থক ? ব্যাখ্যা কর।

6. CuH-এ হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা +I, LiH-এ হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা—I—কেন ?

7. প্যালাডিয়াম হাইড্রাইডে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা '0'—কেন ?

8. প্রশমন-ক্রিয়া ও জারণ-বিজারণ ক্রিয়ার ভিত্তি অভিন্ন—ব্যাখ্যা কর।

9. প্রশমন ক্রিয়া কি বিজারণ-জারণ ক্রিয়া ? ব্যাখ্যা কর।

10. ডিসমিউটেশন বিক্রিয়া জারণ-বিজারণ ক্রিয়ার অন্তর্গত—কেন ?

11. জারণ-সংখ্যা ভগ্নাংশও হতে পারে—উদাহরণ দাও।

12. সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রে জারণ-সংখ্যার প্রশ্ন অবান্তর নয় কেন ?

13. জারক বা বিজারকের বিক্রিয়াকে জারণ ক্রিয়া বা বিজারণ ক্রিয়ার পরিবর্তে জারণ-বিজারণ ক্রিয়া বলাই ভাল—কেন ?

14. বিদ্যুৎ-বিভবসারিকে বিদ্যুৎ-রাসায়নিক সারিও বলে—কেন ?

15. ধাতুগুলির বিদ্যুৎ-বিভবসারিতে যত নীচের দিকে নামা যায় ততই মৌলগুলির বিজারণ ধর্ম কমতে থাকে—উদাহরণ সহ বল।

16. কোনো বিক্রিয়ায় ইলেক্ট্রনের আদান-প্রদান ঘটলেই কি তা বিজারণ-জারণ ক্রিয়া হয় ? কেন ?

(B) গাণিতিক ঃ

1. Na_2O_2, OF_2, H_2O, O_3, H_2SO_4-এ অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা নির্ণয় কর। উঃ —I, +II, —II, 0 এবং—II

2. N_2, N_2O, N_2O_3, NO_2, HNO_3, NH_3, HNO_2, NH_4NO_3, NO, NH_4NO_2 এবং NCl_3-তে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা কত ?

3. নিম্নলিখিত যৌগগুলিতে কার্যকরী পরমাণুর জারণ-সংখ্যা নির্ণয় কর ঃ

KI, KBr, $KMnO_4$, K_2CrO_4, $K_2Cr_2O_7$, KNO_3, $KClO_3$, K_2HPO_4, ও $FeSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, $6H_2O$

4. $FeSO_4$, H_2O_2, I_2 এবং KI-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

অষ্টম অধ্যায়

পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থার কতকগুলি সাধারণ ধর্ম

(Some general properties of matter in gaseous state)

8.1 সূচনা (Introduction) : যে-কোনো পদার্থ যখন এক সঙ্গে অনেকটা থাকে তখন তার কতকগুলি পরিমাপযোগ্য ধর্ম প্রকাশ পায়। যেমন, ভর, আয়তন, আকৃতি, চাপ, ইত্যাদি। পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাতেও এই ধর্মগুলি দেখা যায় এবং (i) ভর, (ii) চাপ, (iii) উষ্ণতা ও (iv) আয়তন এই চারটি ধর্মের উপর গ্যাসীয় পদার্থের অন্যান্য ধর্ম বিশেষ ভাবে নির্ভরশীল। তাই এই ধর্ম চারটি নীচে আলোচিত হল :

(i) ভর (Mass) : কঠিন ও তরল পদার্থের মতো গ্যাসীয় পদার্থেরও ভর আছে এবং তা সহজেই পরীক্ষার দ্বারা বোঝা যায়। একটি প্রায় বায়ুশূন্য ও বায়ুনিরুদ্ধছিপি-যুক্ত কাঁচ-পাত্রের ভর নিয়ে তাতে বায়ুভর্তি করে পুনরায় ভর নিলে দেখা যাবে যে, পাত্রটির দ্বিতীয় বারের ভর প্রথম বারের ভরের চেয়ে বেশী। ভর দুইটির অন্তরই হচ্ছে পাত্রে ভর্তি করা বায়ুর ভর। ভরকে সাধারণতঃ গ্রাম (g)-এর এককে প্রকাশ করা হয়। অন্য এককেও তা প্রকাশ করা যায়। অন্যান্য পদার্থের ন্যায় খানিকটা গ্যাসীয় পদার্থের ভর অর্থে তাতে উপস্থিত অণুগুলির মোট ভর বোঝায়।

(ii) চাপ (Pressure) : প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর লম্বভাবে প্রযুক্ত বলকে চাপ বলে। যে-কোনো তলের উপর লম্বভাবে প্রযুক্ত বলকে আবার ঘাত (Thrust) বলে। যদি কোনো তলের ক্ষেত্রফল A হয় এবং তার উপর লম্বভাবে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ P হয়, তাহলে ঐ তলে ঘাত হচ্ছে P এবং চাপ হবে P/A।

$$\therefore \text{ চাপ} = \frac{\text{ঘাত}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$$

C. G. S. পদ্ধতিতে বলের একক ডাইন (Dyne) এবং ক্ষেত্রফলের একক sq.cm। অতএব, এই পদ্ধতিতে চাপের একক হচ্ছে dyne/sq.cm বা dyne/cm^2।

গ্যাসীয় পদার্থ চাপ প্রয়োগ করতে পারে। যে আবদ্ধ পাত্রে গ্যাসীয় পদার্থকে রাখা হয় সেই পাত্রের ভিতরের দেওয়ালগুলিতে পদার্থটি চাপ

প্রদান করে। জলীয় বাষ্প চাপ প্রদান করে বলেই ফুটন্ত জলের কেটলির ঢাকা নড়তে থাকে। গ্যাসীয় পদার্থ কর্তৃক প্রদত্ত চাপকে ভিন্নভাবে প্রকাশ করা হয়। $1cm^2$ প্রস্থচ্ছেদযুক্ত পারদস্তম্ভের উচ্চতার দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থের চাপ প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, যদি কোনো গ্যাসীয় পদার্থের চাপ, $1cm^2$ প্রস্থচ্ছেদযুক্ত 75 cm উচ্চতাবিশিষ্ট পারদস্তম্ভের ওজনের সমান হয়, তা হলে গ্যাসীয় পদার্থের ঐ চাপকে 75 cm বা 750 mm চাপ বলে। বস্তুতঃ $1cm^2$ প্রস্থচ্ছেদযুক্ত কোনো গ্যাসীয় বা তরল স্তম্ভের দ্বারা তলদেশে প্রযুক্ত চাপ

=স্তম্ভের উচ্চতা × পদার্থের ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ

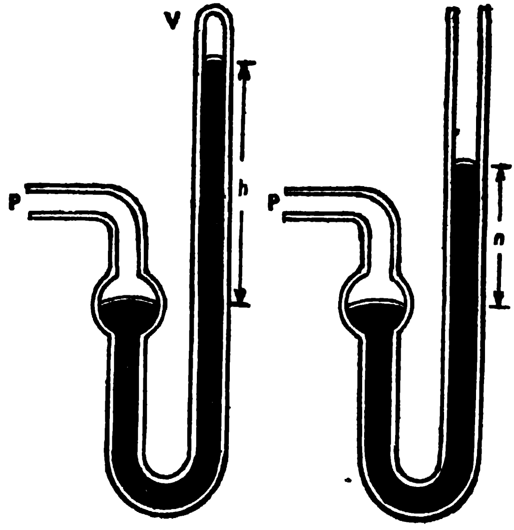
অতএব, 75 cm পারদস্তম্ভের চাপ $=75\times13{\cdot}6\times981$

$=10^6$ dynes/cm^2

(13·6g/ml—পারদের ঘনত্ব, 981cm/sec.sec—অভিকর্ষজ ত্বরণ)

বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric Pressure) : পৃথিবীকে ঘিরে সমস্ত দিকে প্রায় 200 মাইল জুড়ে যে বায়ুস্তর তাকেই বায়ুমণ্ডল বলে। বায়ুর ওজন আছে বলে বায়ুমণ্ডলের সংস্পর্শে যে-সকল তল আছে তাদের উপর সর্বদাই বায়ুমণ্ডল চাপ প্রয়োগ করে। **কোনো একটি তলের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ বলতে আমরা বুঝি সেই তলের উপর যে বায়ুমণ্ডল আছে তার সমউচ্চতাবিশিষ্ট একক প্রস্থচ্ছেদযুক্ত বায়ুস্তম্ভের ওজনকে।** C. G. S. পদ্ধতিতে সমুদ্রতলে বায়ুমণ্ডলের এই চাপ প্রায় 10^6 dynes/cm^2। সুউচ্চ পর্বতের উপর বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা সমুদ্রতলের উপর বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা অপেক্ষা কম বলে পর্বতের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ সমুদ্রতলের বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম।

গবেষণাগারে গ্যাসের চাপ পরিমাপ করা হয় ম্যানোমিটার নামক যন্ত্রের সাহায্যে। যন্ত্রটি U আকৃতির একটি নল। আর তাতে থাকে পারদ। এক ধরনের ম্যানোমিটারের একটি বাহু খোলা ও অপর বাহু বন্ধ থাকে। অন্য ধরনের ম্যানোমিটারে দুই মুখই খোলা থাকে (8.1.1 নং চিত্র)। চিত্রে P, মুখটি গ্যাসর সঙ্গে যুক্ত ; V, অংশ পারদ বাষ্পের দ্বারা পূর্ণ ; A, খোলা মুখ ; h, U নলের দুই বাহুর পারদ তলের পার্থক্য। প্রথম ধরনের ম্যানোমিটারে গ্যাসের চরম চাপ=h এবং দ্বিতীয় ধরনের ম্যানোমিটারে গ্যাসের চরম চাপ =h+বায়ুমণ্ডলের চাপ।



ম্যানোমিটার
8.1.1 নং চিত্র

8.1 নং গাণিতিক উদাহরণ : যদি কোনো স্থানে বায়ুর চাপ 75 cm হয় তা হলে সেই স্থানে বায়ুস্তম্ভের উচ্চতা কত ? (বায়ুর ঘনত্ব$=0{\cdot}2$g/ml এবং পারদের ঘনত্ব$=13{\cdot}6$g/ml) ।

সমাধান : "বায়ুর চাপ 75cm"—একথার অর্থ হল 75 cm উচ্চতা-বিশিষ্ট পারদস্তম্ভ কর্তৃক প্রযুক্ত চাপ সমান h cm উচ্চতাবিশিষ্ট বায়ুস্তম্ভের দ্বারা প্রযুক্ত চাপ । উভয় ক্ষেত্রেই স্তম্ভের প্রস্থচ্ছেদ সমান নিতে হবে ।

∴ পারদ স্তম্ভের চাপ$=75\times13{\cdot}6\times980$

এবং বায়ু ,, ,, $=h\times0{\cdot}2\times980$

এখন, পারদস্তম্ভের চাপ$=$বায়ুস্তম্ভের চাপ

$$\therefore\ h\times0{\cdot}2\times980=75\times13{\cdot}6\times980$$

$$\therefore\ h=\frac{75\times13{\cdot}6}{0{\cdot}2}\text{cm}$$

$$=5100\ \text{cm}=5{\cdot}1\ \text{m}$$

(iii) উষ্ণতা (Temperature) : কোনো বস্তুতে তাপ প্রয়োগের ফল হল উষ্ণতা । এটি একটি আপেক্ষিক ব্যাপার । যে-বস্তু যত গরম তার উষ্ণতা তত বেশী । কোনো বস্তু থেকে তার পরিপার্শ্বে তাপ প্রবাহিত হবে,

না পরিপার্শ্ব থেকে বস্তুটিতে তাপ প্রবাহিত হবে তা নির্ভর করে উভয়ের উষ্ণতার উপর। যার উষ্ণতা বেশী তার থেকে তাপ কম উষ্ণতার দিকে প্রবাহিত হবে।

অন্যান্য পদার্থের ন্যায় গ্যাসীয় পদার্থেও উত্তাপ দিলে তার উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় এবং শীতল করলে উষ্ণতা হ্রাস পায়। সাধারণতঃ সেন্টিগ্রেড স্কেলেই গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতা মাপা হয়।

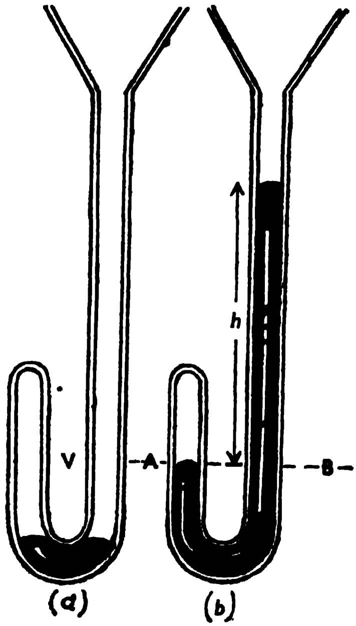
(iv) **আয়তন (Volume) :** কোনো পদার্থ যে পরিমাণ স্থান জুড়ে থাকে তাকে পদার্থটির আয়তন বলে। গ্যাসীয় পদার্থের নিজস্ব কোনো আকার বা আয়তন নেই ; যে পাত্রে রাখা হয় তারই আকার বা আয়তন গ্রহণ করে। অতএব, আবদ্ধ পাত্রের আয়তনই গ্যাসের আয়তন। উষ্ণতা ও চাপের সামান্যতম পরিবর্তনে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তনের প্রভূত পরিবর্তন সাধিত হয়। এইজন্য উষ্ণতা ও চাপের উল্লেখ ব্যতীত গ্যাসের আয়তনের উল্লেখ অর্থহীন। আয়তন সাধারণতঃ মিলিলিটার (ml) বা লিটার (litre) এককে প্রকাশ করা হয়।

গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে উষ্ণতা, আয়তন, চাপ, ঘনত্ব, ইত্যাদি পরস্পরের উপর নির্ভরশীল। একটির পরিবর্তন ঘটলে অন্যগুলির প্রভূত পরিবর্তন হয়। দেখা যায়, একটির পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে অন্য একটির পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। কখনও কখনও একটির পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে অন্যটির পরিমাণ হ্রাস পায়। আবার দেখা যায় যে, গ্যাসীয় পদার্থগুলি খুব দ্রুত একে অপরের সঙ্গে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরী করে। এই ঘটনাকে গ্যাসের ব্যাপন বলে। বিভিন্ন বিজ্ঞানীর নানা পরীক্ষা নিরীক্ষার ফলে গ্যাসীয় পদার্থের এই ধর্মগুলি জানা যায়। তাঁদের পরীক্ষার গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্ত হচ্ছে যে, গ্যাসীয় পদার্থের আচরণগুলি কয়েকটি মূল সূত্রের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই সূত্রগুলিই নিম্নে বিশদভাবে আলোচনা করা হচ্ছে।

8.2 গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে চাপের সম্পর্ক (Relation between the volume and the temperature of a gas) :

বয়েলের পরীক্ষা (Boyle's experiment) : রবার্ট বয়েলই সর্বপ্রথম গবেষণাগারে নির্দিষ্ট ভরের কিছু বায়ুর আয়তনের উপর চাপের ক্রিয়া নিরীক্ষণ করেন। তাঁর ব্যবহৃত যন্ত্র খুবই সরল। তিনি J-আকৃতির একটি কাঁচের নল ব্যবহার করেন। এটির একদিক বন্ধ এবং অপর দিক ফানেলের মত খোলা ও চওড়া। খোলা মুখটি দিয়ে যন্ত্রে পারদ ঢালা যায়।

নলের ক্ষুদ্র বাহুতে দাগ কাটা আছে। প্রথমে অল্প পরিমাণে পারদ তিনি যন্ত্রে ঢালেন যাতে কিছু বায়ু (ধরা যাক, তার আয়তন v) বন্ধ নলে আবদ্ধ থাকে। এই বায়ু পারদের উপর চাপ প্রদান করে। প্রথমে উভয় বাহুতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান (8. 2. 1a নং চিত্র) বলে আবদ্ধ বায়ুর চাপ, p, বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। বয়েল এর পর আরও পারদ ঢালেন। দুই বাহুতেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়ে। অর্থাৎ, বদ্ধনলে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন কমে। যন্ত্রের দুই মুখই খোলা থাকলে উভয় বাহুতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান হত। কিন্তু এক মুখ বন্ধ বলে দীর্ঘ বাহুতে স্তম্ভের উচ্চতা বেশী (8. 2. 1b নং চিত্র)। বয়েল এমন পরিমাণ পারদ ঢালেন যাতে বন্ধ নলে বায়ুর আয়তন



8.2.1 নং চিত্র

পূর্ব আয়তনের (v-এর) অর্ধেক $(\frac{v}{2})$ হয়। এবার তিনি লক্ষ করেন উভয় বাহুতে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য (h) প্রায় 30 ইঞ্চি। এর অর্থ হচ্ছে, B-তে অবস্থিত পারদতলের উপর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের দ্বিগুণ (সাধারণতঃ 30 ইঞ্চি উচ্চ পারদস্তম্ভের দ্বারা প্রযুক্ত চাপ=বায়ুমণ্ডলের চাপ)। A-তলে আবদ্ধ বায়ুর দ্বারা প্রদত্ত চাপও স্বাভাবিক ভাবে বায়ুমণ্ডলের চাপের দ্বিগুণ। অতএব, দেখা গেল যে, আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন যখন অর্ধেক, তার দ্বারা, প্রযুক্ত চাপ তখন দ্বিগুণ। বয়েল আরও পারদ ঢালেন যাতে আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন কমে পূর্ব আয়তনের এক-তৃতীয়াংশ $(\frac{v}{3})$ হয়। এতে তিনি লক্ষ্য করেন যে, চাপ বেড়ে তিনগুণ হয়েছে। একই ভাবে আরও পারদ ঢেলে আয়তন এক-চতুর্থাংশ $(\frac{v}{4})$ করা হলে চাপ বেড়ে চতুর্গুণ হয়। এইভাবে

গ্যাসের আয়তন ক্রমশঃ পরিবর্তন করে তিনি প্রচুর উপাত্ত (data) সংগ্রহ করেন এবং এই উপাত্ত থেকে আরোহ অনুমানের (Inductive reasoning) সাহায্যে তিনি একটি প্রাকৃতিক সূত্র (Natural law) আবিষ্কার করেন। সমস্ত পরীক্ষাটি তিনি একই উষ্ণতায় করেন। এবার সূত্রটি আলোচনা করা হচ্ছে।

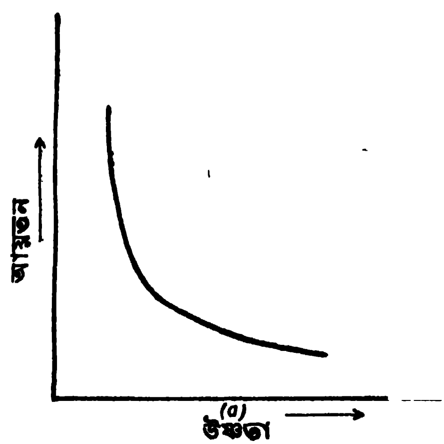
বয়েলের সূত্র (Boyle's Law) ঃ অপরিবর্তিত উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের যে-কোনো গ্যাসের আয়তন চাপের সঙ্গে ব্যস্ত (Inverse) অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।

দুইটি রাশির মধ্যে যদি এরূপ সম্পর্ক থাকে যে, একটির মান বাড়লে অপরটির মান সমহারে কমে, তবে বলা যায় রাশি দুইটি ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। এক্ষেত্রে স্থির উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তন পরস্পরের সঙ্গে ব্যস্তভাবে (Inversely) সম্পর্কিত।

নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের আয়তন যদি V হয় এবং চাপ P হয় তবে গাণিতিক উপায়ে V এবং P-এর সম্পর্ককে নিম্নলিখিত ভাবে প্রকাশ করা যায় ঃ

$V \propto \frac{1}{P}$, যখন উষ্ণতা = ধ্রুবক বা অপরিবর্তিত রাশি। ভেদের তত্ত্ব অনুযায়ী লেখা যায়, $V = \frac{k}{P}$, k = ধ্রুবক। অথবা, $P \times V = k$ = ধ্রুবক।

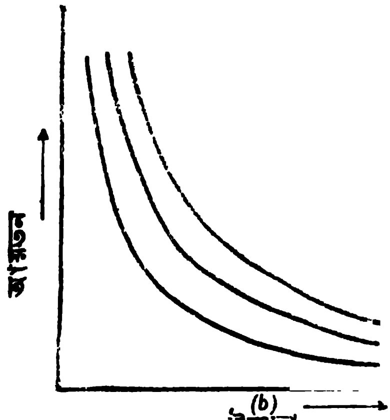
k ধ্রুবক হলেও তার মান গ্যাসের উষ্ণতা ও ভরের উপর নির্ভরশীল।



8.2. 2a নং চিত্র

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের আয়তন মেপে যদি লেখ

কাগজে (Graph paper) প্রকাশ করা যায় তবে পাওয়া যায় পরাবৃত্ত (8. 2. 2a নং চিত্র)। বিভিন্ন উষ্ণতায় পরীক্ষা করা হলে লেখের (curve)



8.2.2b নং চিত্র

প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকে ; কেবল k-এর মান পরিবর্তিত হয় (8. 2. 2b নং চিত্র)

যে-সকল প্রক্রিয়ায় উষ্ণতা স্থির রাখা হয় তাদের বলা হয় **সমতাপীয় প্রক্রিয়া** (Isothermal Process)। বয়েলের পরীক্ষাটি একটি সমতাপীয় প্রক্রিয়া। কোনো একটি সমতাপীয় প্রক্রিয়ায় নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট একটি গ্যাসের আয়তন ও চাপ যথাক্রমে V_1 ও P_1 পরিবর্তিত হয়ে যদি যথাক্রমে V_2 ও P_2 হয় তবে বয়েলের সূত্রের প্রয়োগদ্বারা পাওয়া যায় :

$$V_1 = \frac{k}{P_1} \text{ (k = ধ্রুবক) এবং}$$

$$V_2 = \frac{k}{P_2} \text{ (k = ধ্রুবক)}$$

প্রক্রিয়াটি সমতাপীয় বলে ধ্রুবক k-এর মান অপরিবর্তিত থাকবে।

$$\therefore \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{ধ্রুবক}$$

যদি P_3, P_4, P_5...ইত্যাদি বিভিন্ন চাপে গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_3, V_4 V_5...ইত্যাদি হয় তবে লেখা যায় $P_3V_3 = P_4V_4 = P_5V_5 = P_2V_2 = P_1V_1 =$ ধ্রুবক।

অতএব, **বয়েলের পরীক্ষার দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থের এই**

সাধারণ (general) ধর্মটি প্রকাশিত হল যে, স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ও চাপ পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিক।

গ্যাসের ঘনত্বের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on the density of gas) : m ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের আয়তন ও ঘনত্ব যদি যথাক্রমে V ও D হয়, তবে $D=\frac{m}{V}$; m ধ্রুবক বলে, $D\times V$-ও ধ্রুবক। অথবা, $D \propto \frac{1}{V}$ । অর্থাৎ, গ্যাসের ঘনত্ব তার আয়তনের সঙ্গে ব্যস্তভাবে সম্পর্কিত। এখন, যদি কোনো সমতাপীয় প্রক্রিয়ায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন V_1, চাপ P_1, ও ঘনত্ব D_1 পরিবর্তিত হয়ে যথাক্রমে V_2, P_2 ও D_2 হয়, তবে বলা যায় :

$$D_1\times V_1=D_2\times V_2, \quad \text{অথবা,} \quad \frac{D_1}{D_2}=\frac{V_2}{V_1}$$

কিন্তু বয়েলের সূত্র থেকে জানা যায় যে, $P_1 V_1=P_2 V_2$ (স্থির উষ্ণতায়),

$$\text{অথবা,} \quad \frac{P_1}{P_2}=\frac{V_2}{V_1}, \quad \therefore \quad \frac{D_1}{D_2}=\frac{P_1}{P_2}$$

অর্থাৎ, **স্থির উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ঘনত্ব তার চাপের সঙ্গে সমানুপাতিক।** বয়েলের সূত্রের এটা হচ্ছে অনুসিদ্ধান্ত। এটাও গ্যাসীয় পদার্থের একটি **সাধারণ ধর্ম।**

8.2 নং গাণিতিক উদাহরণ : একটি গ্যাসের আয়তন ও চাপ যথাক্রমে 850 ml এবং 70cm। গ্যাসটির আয়তন 720 ml-এ সংকুচিত করতে গেলে চাপ কতটা বৃদ্ধি করতে হবে?

সমাধান : বয়েলের সূত্র থেকে জানা যায়, $P_1V_1=P_2V_2$। মনে করা যাক এখানে, $P_1=70$ cm, $V_1=850$ ml, এবং $V_2=720$ ml

$$\therefore \quad P_2=\frac{P_1 V_1}{V_2}=\frac{70 \text{ cm}\times 850 \text{ ml}}{720 \text{ ml}}=82{\cdot}6 \text{ cm}$$

$$\therefore \quad \text{প্রয়োজনীয় বর্ধিত চাপ}=P_2-P_1$$
$$=(82{\cdot}6-70{\cdot}0) \text{ cm}$$
$$=12{\cdot}6 \text{ cm}$$

8.3 নং গাণিতিক উদাহরণ : কিছু মার্বেল সহ একটি গ্যাসের আয়তন 760 mm চাপে 100 ml। চাপ বাড়িয়ে 1000 mm করলে আয়তন কমে হয় 80 ml। মার্বেল কর্তৃক অধিকৃত আয়তন কত?

সমাধান : ধরা যাক, মার্বেল কর্তৃক অধিকৃত আয়তন=Vml

∴ 760 mm চাপে গ্যাসের আয়তন $=(100-V)$ ml

এবং 1000 ,, ,, ,, ,, $=(80-V)$ ml

(কঠিন বলে মার্বেলের আয়তন চাপের প্রভাবহীন)

বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$(100-V)\ \text{ml}\times 760\ \text{mm}=(80-V)\ \text{ml}\times 1000\ \text{mm}$

অথবা, $24\ V=400$, ∴ $V=16{\cdot}6$ ml

8.4 নং গাণিতিক উদাহরণ : 0°C উষ্ণতায় ও 760 mm চাপে একটি গ্যাসের ঘনত্ব 14। উষ্ণতা স্থির রেখে চাপ দ্বিগুণ করলে ঘনত্ব কত হবে?

সমাধান : বয়েলের সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত অনুযায়ী, $\frac{D_1}{D_2}=\frac{P_1}{P_2}$

এখানে ধরা যাক, $D_1=14$, $P_1=760$ mm এবং $P_2=2\times 760$ mm

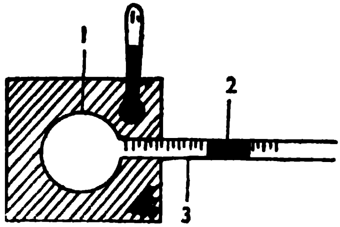
$$\therefore\ \frac{14}{D_2}=\frac{760}{2\times 760},\quad \therefore\ D_2=28$$

বিশেষ দ্রষ্টব্য : গ্যাসীয় পদার্থের আচরণের সমীকরণে উষ্ণতা সর্বদাই পরম উষ্ণতা সূচীত করে। এই জন্য প্রশ্নে উল্লিখিত উষ্ণতাকে (°C-কে) প্রথমে পরম উষ্ণতায় পরিবর্তিত করে নিতে হবে।

8.3 গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে উষ্ণতার সম্পর্ক (Relation between the volume and the temperature of a gas) : সকল পদার্থের মতো গ্যাসীয় পদার্থেরও উষ্ণতার বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে আয়তনের প্রসারণ বা সংকোচন ঘটে। কোনো গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে উষ্ণতার পরিমাণগত (quantitative) সম্পর্ক (অর্থাৎ, উষ্ণতা কতটা বৃদ্ধি পেলে আয়তনের কি পরিমাণ প্রসারণ ঘটে, ইত্যাদি) সর্বপ্রথম নির্ণয় করেন ফরাসী বিজ্ঞানী চার্লস্ (J. A. Charles, 1790)।

চার্লসের পরীক্ষা (Charles' experiment) : দীর্ঘ সরু অংশাঙ্কিত গলাযুক্ত একটি কাঁচের বাল্ব নিয়ে গলাটিকে পারদে ডুবিয়ে উত্তপ্ত করা হয়। এবার বাল্বটিকে ঠাণ্ডা করলে বায়ুর সংকোচনের ফলে পারদ-বিন্দু গলার প্রবেশ করে। এখন বাল্বটিকে অনুভূমিক অবস্থায় জল ও বরফের মিশ্রণের মধ্যে (0°C উষ্ণতায়) রাখা হয়। বাল্বের বায়ুর সংকোচনের ফলে পারদ-বিন্দু বাল্বের দিকে সরে যায় এবং একস্থানে স্থির হয়। এবার বিভিন্ন উষ্ণতায় (0°C-এর উপরে) বাল্বটিকে রেখে প্রতি ক্ষেত্রে পারদ-বিন্দুর অবস্থান চিহ্নিত

করা হয়। দেখা যায় যে, 0°C উষ্ণতায় পারদ-বিন্দুর অবস্থান থেকে এই চিহ্নের দূরত্ব গ্যাসের আয়তন প্রসারণের সঙ্গে সমানুপাতিক। অর্থাৎ, এই দূরত্বগুলিই আয়তন প্রসারণের সূচক হিসাবে কাজ করে।



1. বাল্ব, 2. পারদ-বিন্দু, 3. লম্বা গলা
8.3.1 নং চিত্র

এবার তিনি বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রাপ্ত গ্যাসের বিভিন্ন আয়তনকে একটি লেখের সাহায্যে প্রকাশ করেন। লেখটি একটি সরল রেখা হয় এবং এটি মূল বিন্দু দিয়ে না গিয়ে উল্লম্ব অক্ষকে (Ordinate) একটি বিন্দুতে ছেদ করে। [ধরা যাক, x ও y পরস্পর সম্পর্কিত দুইটি এমন চল (variable) রাশি যে, এগুলির একটির মান (ধরা যাক, x-এর মান) লেখের অনুভূমিক অক্ষে ও অপরটির মান (y-এর মান) উল্লম্ব অক্ষে বসিয়ে বিন্দুগুলিকে যোগ করলে একটি সরল রেখা হয় এবং সরল রেখাটি মূল বিন্দু (Origin) দিয়ে না গিয়ে উল্লম্ব অক্ষকে একটি বিন্দুতে ছেদ করে। এরূপ ক্ষেত্রে x ও y-কে একটি সমীকরণের দ্বারা প্রকাশ করা যায় এবং তাহল : $y=mx+c$,

যখন c = মূল বিন্দু থেকে সরল রেখা ও উল্লম্ব অক্ষের ছেদ বিন্দুর দূরত্ব।

m = অনুভূমিক অক্ষের সঙ্গে সরল রেখার নতি।]

চার্লস উষ্ণতাকে (t-কে) অনুভূমিক অক্ষে এবং আয়তনকে (V-কে) উল্লম্ব অক্ষে স্থাপন করেন। সুতরাং, V ও t-এর সম্পর্ককে নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ কর যায় : $V=mt+C$

এখানে, C, 0°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন সূচিত করে। যদি এই আয়তন V_0 হয়। তবে $C=V_0$

যদি ধরা যায়, $\Delta t°$ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য আয়তন বৃদ্ধি হয় ΔV,

তবে 1° ,, ,, ,, ,, ,, ,, $\frac{\Delta V}{\Delta t}$

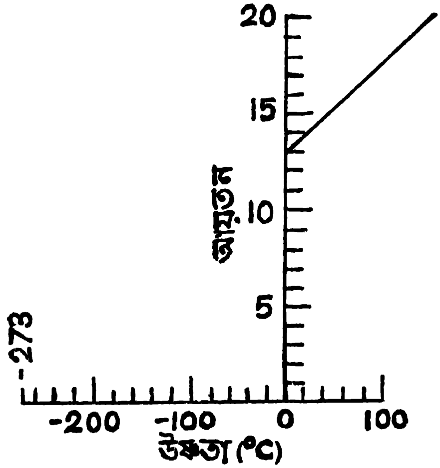
এবং এই অনুপাতই হচ্ছে m। $\therefore\ m=\frac{\Delta V}{\Delta t}$

$$\therefore\ V=V_0+\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)t$$

আবার V_0 আয়তনের জন্য m-এর মান $\frac{\Delta V}{\Delta t}$

একক ,, ,, m ,, ,, $\frac{1}{V_0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)$.

$\frac{1}{V_0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)$, এই রাশিকেই বলা হয় গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক



8.3.2 নং চিত্র

অর্থাৎ, চাপ স্থির রেখে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের উষ্ণতা 0°C থেকে 1°C বৃদ্ধি করলে তার প্রতি একক আয়তনে যে আয়তন বৃদ্ধি হয় তাকে ঐ গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক (α) বলে (Co-efficient of volume expansion) ।

$$\therefore \quad V = V_0 + V_0\alpha t \qquad \left[\because \frac{1}{V_0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right) = \alpha\right]$$

$$\text{বা}, \quad V = V_0(1+\alpha t)$$

এই সমীকরণের সাহায্যে চার্লস গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ধারণ করেন এবং লক্ষ্য করেন যে, সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই এই গুণাঙ্ক ধ্রুবক যার মান প্রায় $\frac{1}{273}$। সমগ্র পরীক্ষাটি চার্লস অপরিবর্তিত চাপে সংঘটিত করেন। এই পরীক্ষা থেকেই আরোহ অনুমানের দ্বারা একটি প্রাকৃতিক সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র চার্লসের সূত্র নামে খ্যাত।

চার্লসের সূত্র (Charles' law) : অপরিবর্তিত চাপে 0^0C উষ্ণতায় রক্ষিত নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন প্রতি 1^0C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য তার আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ প্রসারিত হয়।

যদি কোনো গ্যাসের আয়তন 0^0C এবং t^0C উষ্ণতায় যথাক্রমে V_0 এবং V_t হয়, তবে চার্লসের সূত্রানুযায়ী :

$$V_t = V_0 + V_0 \times \frac{t}{273} = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

পরম উষ্ণতা (Absolute Temperature) : চার্লসের সূত্র থেকে বলা যায় যে, যদি স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের উষ্ণতা 1^0C হ্রাস পায় তবে 0^0C-এ গ্যাসের যে আয়তন ছিল তার $\frac{1}{273}$ অংশ সংকুচিত হয়।

মনে করা যাক, 0^0C উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের আয়তন V_0,

$\therefore$ -1^0C ,, ঐ ,, ,, $V_0\left(1-\frac{1}{273}\right)$

$\therefore$ -2^0C ,, ,, ,, ,, $V_0\left(1-\frac{2}{273}\right)$

$\therefore$ $-t^0C$,, ,, ,, ,, $V_0\left(1-\frac{t}{273}\right)$

$\therefore$ -273^0C ,, ,, ,, ,, $V_0\left(1-\frac{273}{273}\right)$

অর্থাৎ, -273^0C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন শূন্য। পূর্বোক্ত (8.3.2 নং চিত্র) আয়তন-উষ্ণতা সম্পর্কিত লেখটিকে পশ্চাদ্‌দিকে বর্ধিত করে উষ্ণতা অক্ষকে ছেদ করলে দেখা যায় যে এটি ঐ অক্ষকে -273^0C-এ ছেদ করে। অর্থাৎ, ঐ উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন শূন্য। মনে রাখা প্রয়োজন, তত্ত্বগতভাবে পূর্বোক্ত সিদ্ধান্তে আসা গেলেও কোনো গ্যাসই -273^0C পর্যন্ত গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে না। তার পূর্বেই তরলীভূত হয়ে যায়। আর তরল অবস্থায় জড় পদার্থ চার্লসের সূত্র মেনে চলে না।

যাই হোক, বিজ্ঞানী লর্ড কেলভিন (Kelvin) উক্ত সিদ্ধান্তকে কাজে লাগিয়ে উষ্ণতা পরিমাপের একটি নূতন স্কেল প্রবর্তন করেন। এই নূতন স্কেলে -273^0C-কে 0^0 ধরা হয়। সুতরাং, সেন্টিগ্রেড স্কেলে যে উষ্ণতা -273^0 নূতন স্কেলে তা 0^0 (অর্থাৎ, $-273^0+273^0=0^0$)। অতএব, সেন্টিগ্রেড স্কেলে যে-মান হয় তার সঙ্গে 273 যোগ দিলেই নূতন স্কেলে উষ্ণতা পাওয়া যায়।

$\therefore$ t^0C নূতন স্কেলে হবে ($t+273$) বা T^0। এই নূতন স্কেলটির নাম কেলভিন স্কেল অব্ টেম্পারেচার অথবা উষ্ণতার পরম স্কেল (Absolute scale of Temperature)। এর প্রতীক ^0K বা ^0A।

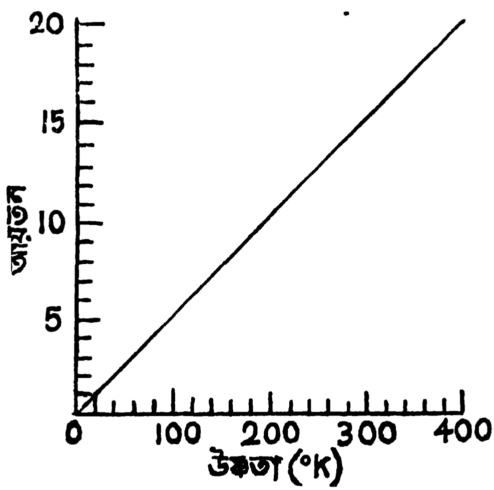
পরম স্কেলের সাহায্যে চার্লসের সূত্রের প্রকাশ (Expression of Charles' law in terms of Absolute scale of Temperature) :
চার্লসের সূত্রানুযায়ী,

$$Vt=V_0+V_0\frac{t}{273} \text{ বা, } Vt=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

$$\text{বা, } \frac{Vt}{V_0}=\frac{t+273}{273}=\frac{T}{T_0}$$

(কেলভিন স্কেল অনুযায়ী, $t+273=T$ এবং 273-কে T_0 ধরা হল)

শেষোক্ত সমীকরণটিকে লেখের সাহায্যে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা



8.3.4 নং চিত্র

যায়। অনুভূমিক অক্ষে T-এর মান এবং উল্লম্ব অক্ষে V-এর মান বসালে যে বিন্দুগুলি পাওয়া যাবে তাদের যুক্ত করে একটি সরল রেখা পাওয়া যাবে এবং সরল রেখাটি মূল বিন্দুগামী হবে (8.3.4নং চিত্র)। অতএব, চার্লসের সূত্রকে নিম্নলিখিত ভাবে ভাষান্তর করা যায় : **চাপ অপরিবর্তিত থাকলে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন তার পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক।**

অর্থাৎ $V \propto T$, যদি P ধ্রুবক হয়। (V=গ্যাসের আয়তন, T=পরম উষ্ণতা, P=চাপ) অথবা, $V = k \times T$, k=ধ্রুবক

যদি কোনো গ্যাসের আয়তন, T_1 এবং T_2 উষ্ণতায় যথাক্রমে V_1 ও V_2 হয়, তবে $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$=ধ্রুবক

k-এর মান গ্যাসের ভর ও চাপের উপর নির্ভরশীল।

গ্যাসের উষ্ণতা ও ঘনত্বের সম্পর্ক (Relation between the temperature and density of a gas) ঃ গ্যাসের আয়তন (V) ও ঘনত্ব (D) পরস্পরের সঙ্গে ব্যস্ত অনুপাতে সম্পর্কিত ($D = \frac{m}{V}$, m=গ্যাসের ভর)। আবার, চার্লসের সূত্র থেকে জানা যায়,

$V \propto T$, বা, $V = kT$ (k=ধ্রুবক), $\therefore\ D = \frac{m}{k} \times \frac{1}{T}$

এখানে গ্যাসের ভর (m) ধ্রুবক এবং k একটি ধ্রুবক। কাজেই, $D \propto \frac{1}{T}$

অর্থাৎ, **স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্ব তার পরম উষ্ণতার সঙ্গে ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

$\therefore\ \frac{D_1}{D_2} = \frac{T_2}{T_1}$ (T_1 ও T_2 উষ্ণতায় ঘনত্ব যথাক্রমে D_1 ও D_2)

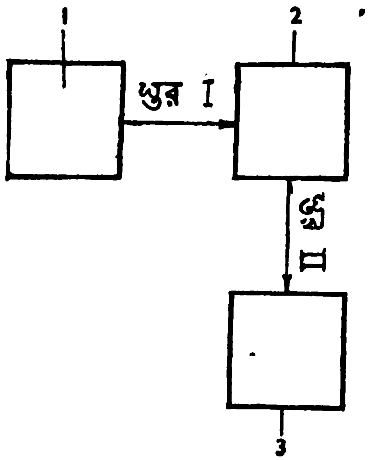
8.4 গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ (Equation of state of a gas) ঃ **যে-গাণিতিক সমীকরণে গ্যাসের আয়তন, চাপ ও উষ্ণতা এই তিনটি চলরাশির সম্পর্ক প্রকাশিত হয় তাকে গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ (equation of state) বলে।** বয়েল ও চার্লসের সূত্রদ্বয়ের সংযোগে এরূপ সমীকরণ পাওয়া যায়।

ধরা যাক, V_1 আয়তনের কোনো আবদ্ধ গ্যাসের উষ্ণতা T_1 এবং চাপ P_1। যদি উক্ত গ্যাসের উষ্ণতা ও চাপ পরিবর্তিত হয়ে যথাক্রমে T_2 ও P_2 হয় তবে এই পরিবর্তন দুইটি স্তরে ঘটানো সম্ভব ঃ

স্তর—I ঃ গ্যাসের চাপ (অর্থাৎ P_1) অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা যদি T_1 থেকে T_2 করা হয়, তবে ধরা যাক পরিবর্তিত অবস্থায় আয়তন হবে V_x এবং যেহেতু অপরিবর্তিত চাপে প্রক্রিয়াটি ঘটানো হলো সেহেতু এক্ষেত্রে চার্লসের সূত্র প্রয়োগ করা যাবে। এই সূত্রের প্রয়োগে পাওয়া যায়,

$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_x}{T_2} \quad \text{বা,} \quad V_x=\frac{V_1 T_2}{T_1} \qquad \cdot\text{(i)}$$

স্তর—II ঃ এইবার ঐ গ্যাসের উষ্ণতা T_2 রেখে তার চাপ P_1 থেকে P_2 করা হল। এই অবস্থায় ধরা যাক, আয়তন V_x থেকে V_2 হল। উষ্ণতা



1. গ্যাসের প্রাথমিক অবস্থা (V_1, P_1, T_1) 2. মধ্যবর্তী অবস্থা (V_x, P_1, T_2)
3. অন্তিম অবস্থা (V_2, P_2, T_2)
8.4.1 নং চিত্র

অপরিবর্তিত রেখে আয়তন ও চাপের পরিবর্তন ঘটানো হয়েছে বলে বয়েলের সূত্র এক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

সুতরাং, $P_1 V_x=P_2 V_2$, বা, $V_x=\frac{P_2 V_2}{P_1}$ ...(ii)

(i) ও (ii) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়—

$$\frac{V_1 T_2}{T_1}=\frac{P_2 V_2}{P_1}, \quad \text{বা,} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1}=\frac{P_2 V_2}{T_2}$$

অথবা, $\frac{PV}{T}=k$ ···(iii) (k একটি ধ্রুবক)

এই ধ্রুবক গ্যাসের প্রকৃতি ও ভরের উপর নির্ভরশীল। যদি এমন কোনো ধ্রুবক খুঁজে বার করা যায় যার মান সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই এক এবং অভিন্ন তবে শেষোক্ত সমীকরণটিকে সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই প্রয়োগ করা সম্ভব। অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগ করে একাজটি করা সম্ভব।

(iii) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়—

$V=k\times\frac{T}{P}$। এখন, T ও P স্থির হলে $V\propto k$

আবার, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী, অপরিবর্তিত উষ্ণতা ও চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসে উপস্থিত মোল-সংখ্যার (n) সহিত সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, $V \propto n$

$\therefore$ $k \propto n$; বা, $k = nR$, R একটি নূতন ধ্রুবক যার মান গ্যাসের প্রকৃতি ও ভরের উপর নির্ভর করে না। $\therefore$ (iii) নং সমীকরণটিকে লেখা যায়ঃ

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{বা,}\ PV = nRT$$

এই সমীকরণই গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ।

এক মোল গ্যাসের জন্য $k = R$, $\therefore$ $\frac{PV}{T} = R$

ধ্রুবক R—কে বলা হয় সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (universal gas constant)।

R—এর মান যে সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই সমান তার প্রমাণঃ ধরা যাক, P_1 চাপে ও T_1 উষ্ণতায় n_1 মোল কোনো গ্যাসের আয়তন V_1 এবং P_2 চাপে ও T_2 উষ্ণতায় n_2 মোল কোনো গ্যাসের আয়তন V_2। আরও ধরা যাক, দুইটি গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস ধ্রুবক যথাক্রমে R_1 ও R_2।

$\therefore$ প্রথম গ্যাসের ক্ষেত্রে, $V_1 P_1 = n_1 R_1 T_1$, বা, $n_1 = \frac{P_1V_1}{R_1T_1}$

এবং দ্বিতীয় ,, ,, $V_2 P_2 = n_2 R_2 T_2$, বা, $n_2 = \frac{P_2V_2}{R_2T_2}$।

এখন, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী, সমান উষ্ণতা, চাপ ও আয়তনে সকল গ্যাসেই সমসংখ্যক অণু বর্তমান থাকে। সুতরাং সমান উষ্ণতা, চাপ ও আয়তনে বিভিন্ন গ্যাস অণুর মোল-সংখ্যাও সমান। অর্থাৎ, যদি ধরা যায় $P_1 = P_2$ এবং $T_1 = T_2$, তবে $n_1 = n_2$ হবে।

এমতাবস্থায়, n_1 ও n_2-কে সমান হতে গেলে R_1 ও R_2 অবশ্যই সমান হবে। $\therefore$ $R_1 = R_2 = R$, গ্যাস ধ্রুবক।

কাজেই, প্রমাণিত হল যে, সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই গ্যাস ধ্রুবকের মান সমান।

R-এর মাত্রা ও মান (Dimension and Value of R)ঃ গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ থেকে R-এর মাত্রা ও মান গণনা করা যায়। 1 মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে $\frac{PV}{T} = R$

আবার, চাপের সংজ্ঞার্থ অনুযায়ী, চাপ (P) $= \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2}$

এবং আয়তন (V) = (দৈর্ঘ্য)^3

$$\therefore \text{ R-এর মাত্রা} = \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} \times \frac{(\text{দৈর্ঘ্য})^3}{\text{ডিগ্রি}} = \frac{\text{বল} \times \text{দৈর্ঘ্য}}{\text{ডিগ্রি}}$$

অতএব, R হচ্ছে প্রতি ডিগ্রিতে প্রতি মোলে গ্যাসের শক্তির পরিমাপ। শক্তির একাধিক একক আছে বলে R-এর মানও বিভিন্ন হয় এবং তা P ও V এর এককের উপর নির্ভরশীল।

(a) এক মোল গ্যাসের জন্য $R = \frac{P \times V}{T}$ । অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প অনুযায়ী, 273°K উষ্ণতায় এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে (1 atmosphere) প্রতিটি গ্যাসের আয়তন হয় 22·414 *l*।

অতএব, P=1 atmos, V=22·414 *l* এবং T=273, হলে

$$R = \frac{1 \times 22{\cdot}414}{273} = 0{\cdot}082 \; l\text{-atmos/degrce-mole}$$ ।

(লিটার-অ্যাটমসফিয়ার শক্তির একটি একক)।

(b) V-এর একক যদি m*l* এবং চাপের একক ডাইনে প্রকাশ করা যায়, তবে V=22414m*l* এবং P=$76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ dyne/cm^2

[কারণ atmos=1cm^2 ক্ষেত্রের উপর দণ্ডায়মান 76cm পারদ স্তম্ভের ওজন=$h \times \rho \times g$, h=76cm, ρ=পারদের ঘনত্ব=13·6 g/m*l*

g=981 cm/Sec. Sec]

$$\therefore R = \frac{(76 \times 13{\cdot}6 \times 981)\ \text{dyne} \times 22414\ (\text{cm})^3}{(\text{cm})^2 \times \text{degree} \times \text{mole}}$$

$= 8{\cdot}315 \times 10^7$ dyne × cm/degree-mole

$= 8{\cdot}315 \times 10^7$ erg/degree-mole

$= 8{\cdot}315$ Joule/degree-mole

[10^7 erg=1 Joule ; এটি শক্তির একটি একক]

(c) আবার, 4·184 Joule=1 calorie

$$\therefore \quad R = \frac{8{\cdot}315}{4{\cdot}184} = 1{\cdot}987 = 2 \text{ (প্রায়) Calorie/degree-mole}$$ ।

R-এর এই তিনটি প্রয়োজনীয় মান দেখানো হল।

গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতার মধ্যে সম্পর্ক (Inter-relation between the pressure and temperature of a gas) ঃ গ্যাসের সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে, প্রতি মোল গ্যাসের জন্য

$$\frac{PV}{T}=R, \text{ বা}, \frac{P}{T}=\frac{R}{V}$$

এখন, আয়তন (V) অপরিবর্তিত রাখলে $\frac{R}{V}$ একটি ধ্রুবক হয়।

$\therefore \frac{P}{T}=$ ধ্রুবক, বা, $P \propto T$। অর্থাৎ, **আয়তন অপরিবর্তিত থাকলে নির্দিষ্টভরের গ্যাসের চাপ তার পরম উষ্ণতার সঙ্গে সমানুপাতিক।**

প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপ (Standard or Normal Temperature and Pressure) ঃ গ্যাসের আয়তন সংক্রান্ত পরীক্ষাসমূহের ফলাফল মাঝে মাঝে তুলনা করা হয়। তখন গ্যাসগুলির চাপ ও উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকা প্রয়োজন। বিজ্ঞানে একটি উষ্ণতা ও চাপকে তাই নির্দিষ্ট ধরে নেওয়া হয়। 0°C বা 273°K উষ্ণতাকে প্রমাণ উষ্ণতা ধরে নেওয়া হয়। 273°K উষ্ণতায়, 45° অক্ষাংশের সমুদ্রতলে বায়ুমণ্ডলের চাপকে **প্রমাণ চাপ** বা 1 অ্যাটমোসফিয়ার (Atmosphere) চাপ বলে। এই চাপ 1 $(cm)^2$ প্রস্থচ্ছেদ যুক্ত 76 cm বা 760mm উচ্চতাবিশিষ্ট পারদস্তম্ভের ওজনের সমান। সুতরাং প্রমাণ চাপ= 76cm বা 760mm পারদের চাপ। এই উষ্ণতা ও চাপকে বলে **প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপ (Standard or Normal Temperature and Pressure)** S. T. P. বা N. T. P.।

8.5 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ −10°C উষ্ণতায় হাইড্রোজনের একটি নমুনার আয়তন 1·63 লিটার। 150°C উষ্ণতায় এই আয়তন কত হবে ? (চাপ স্থির ধরা হয়েছে)।

সমাধান ঃ চার্লসের সূত্র থেকে পাওয়া যায়, $\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1}$

ধরা যাক এখানে, $T_1=-10+273=263°K$, $V_1=1{\cdot}63$ litre

$$T_2=150+273=423°K, V_2=?$$

$$\therefore \quad V_2=\frac{T_2}{T_1}\times V_1=\frac{423°K}{273°K}\times 1{\cdot}63 \text{ litre}=2{\cdot}60 \text{ litre}$$

8.6 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ অর্দ্ধেক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 1 cu.dm

আয়তনবিশিষ্ট হাইড্রোজেনের উষ্ণতা 27°C হলে 10°C উষ্ণতায় ও 760mm চাপে এর আয়তন কত হবে ?

সমাধান : বয়েলের ও চার্লসের সংযুক্ত সূত্র থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$$

এখানে, $V_1=1$ Cu. dm (cubic decimetre) $=1000$ ml

$P_1=\frac{760}{2}=380$ mm, $T_1=27°+273°=300°K$, $V_2=$ নির্ণেয় আয়তন,

$T_2=10°+273°=283°K$, $P_2=760mm$

$$\therefore \quad V_2=\frac{1000\times380\times283}{760\times300}=471{\cdot}66ml$$

8.7 নং গাণিতিক উদাহরণ : 20°C উষ্ণতায় ও 720 mm চাপে অক্সিজেনের ঘনত্ব কত ? (1 mole $O_2=32g$)

সমাধান : অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প থেকে জানা যায়, S. T. P.-তে 1 mole কোনো গ্যাস-অণুর আয়তন 22·4 *l* ।

আবার, বয়েল ও চার্লসের সংযুক্ত সূত্র থেকে জানা যায়,

$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ । এক্ষেত্রে, $V_1=22{\cdot}4$ litre/mole,

$T_1=273°K$, $P_1=760$ mm

এবং $V_2=$ নির্ণেয় আয়তন, $T_2=20°+273°=293°K$, $P_2=720$ mm

$$\therefore \quad V_2=V_1\times\frac{T_2}{T_1}\times\frac{P_1}{P_2}$$

$$=22{\cdot}4 \text{ litre/mole}\times\frac{293°K}{273°K}\times\frac{760\text{ mm}}{720\text{ mm}}$$

$$=25{\cdot}4 \text{ litre/mole}$$

এখন, ঘনত্ব $=\frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}=\frac{32g/mole}{25{\cdot}4 \text{ litre/mole}}=1{\cdot}26g/litre$

8.8 নং গাণিতিক উদাহরণ : 1·6g অক্সিজেনের চাপ 380 mm এবং উষ্ণতা 273°C হলে তার আয়তন কত ?

সমাধান ঃ অক্সিজেন গ্যাস-অণুর মোল-সংখ্যা $= \frac{\text{অক্সিজেনের ভর}}{\text{আঃ গুঃ}}$

$$= \frac{1 \cdot 6g}{32g/mole} = 0 \cdot 05 \text{ mole}$$

∴ S. T. P-তে ঐ অক্সিজেনের আয়তন $= 0 \cdot 05 \text{ mole} \times 22 \cdot 4 \text{ litre/mole}$

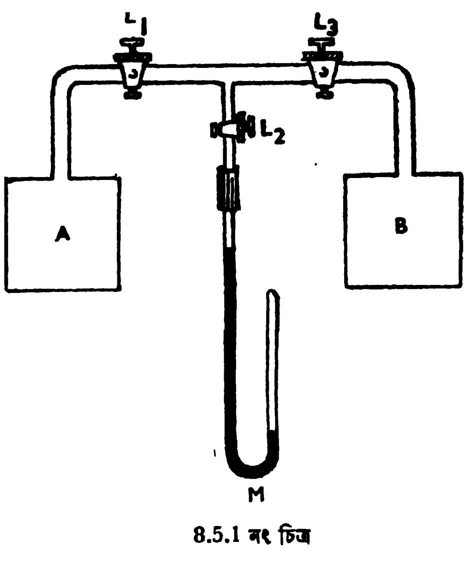
$$= 11 \cdot 12 \text{ litre}$$

273°C এবং 380 mm চাপে ঐ অক্সিজেনের আয়তন

$$= V_1 \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 11 \cdot 12 \text{ litre} \times \frac{546°K}{273°K} \times \frac{760 \text{ mm}}{380 \text{ mm}} = 4 \cdot 48 \text{ litre}$$

8.5 ডাল্টনের অংশ-চাপ সূত্র (Dalton's Law of Partial Pressure) ঃ কোনো একটি আবদ্ধ গ্যাসের চাপ বলতে বোঝা যায়, সেই গ্যাসটি আধারের দেওয়ালে যে চাপ প্রয়োগ করে তা। যদি গ্যাসটি কত-



8.5.1 নং চিত্র

গুলি গ্যাসের মিশ্রণ হয় সে-ক্ষেত্রে গ্যাস মিশ্রণটির সমগ্র চাপ কি উপাদান-গুলির ভিন্ন ভিন্ন চাপের সমষ্টি হয় ? এ প্রশ্নের উত্তরের জন্য ডাল্টন নিম্ন-লিখিত পরীক্ষাটি করেন।

8.5.1 নং চিত্রে A ও B দুইটি পাত্র একটি ম্যানোমিটারের (M) সঙ্গে L_1, L_2, ও L_3 প্যাঁচকল দ্বারা যুক্ত। A ও B এর আয়তন যথাক্রমে V_a ও

V_b। দুইটি ভিন্ন গ্যাস পাত্র দুইটিতে আছে। L_2 বন্ধ রেখে এবং L_1 ও L_3 খুলে প্রথমে A পাত্রের গ্যাসের চাপ মাপা হয়।

ধরা যাক, এই চাপ P_a। আবার L_1 বন্ধ রেখে এবং L_2 ও L_3 খুলে B পাত্রের গ্যাসের চাপ মাপা হয়। এই চাপ P_b, ধরা হল। এখন L_1, L_2 ও L_3 তিনটি প্যাঁচকলই খুলে গ্যাস দুইটিকে পরস্পরের সঙ্গে মিশ্রিত করা হয়। মিশ্রণের চাপ, মনে করা যাক, P। সম্পূর্ণ পরীক্ষাটিতে উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখা হয়। মিশ্রণের পূর্বে,

A পাত্রের গ্যাসের আয়তন $=V_a$, চাপ $=P_a$

এবং B ,, ,, ,, $=V_b$, চাপ $=P_b$

মিশ্রণের পরে,

A পাত্রে যে গ্যাস ছিল তার আয়তন $=V_a+V_b$, চাপ $=f_a$, ধরা যাক।

এবং B ,, ,, ,, ,, ,, ,, $=V_a+V_b$, চাপ $=f_b$, ,, ,,।

বয়েলের সূত্রের সাহায্যে f_a এবং f_b-এর মান জানা সম্ভব।

A পাত্রের গ্যাসের ক্ষেত্রে—

$$V_aP_a=f_a\times(V_a+V_b)$$

$$\text{বা, } f_a=\frac{V_aP_a}{V_a+V_b}$$

B পাত্রে যে গ্যাস ছিল তার ক্ষেত্রে—

$$V_bP_b=f_b\times(V_a+V_b), \quad \therefore \quad f_b=\frac{V_bP_b}{V_a+V_b}$$

V_a, V_b, P_a এবং P_b জ্ঞাত রাশি বলে f_a এবং f_b-এর মান সহজেই নির্ণয় করা সম্ভব। বাস্তব পরীক্ষায় দেখা যায়, মিশ্রণের সমগ্র চাপ, $P=f_a+f_b$।

এই পরীক্ষালব্ধ ফলের অর্থ হচ্ছে, মিশ্রণের ভিন্ন ভিন্ন উপাদান যদি পৃথক পৃথকভাবে (V_a+V_b) আয়তন অধিকার করে তবে তাদের ভিন্ন ভিন্ন চাপ হবে এবং উপাদানগুলির এই চাপের সমষ্টি থেকেই মিশ্রণের সমগ্র চাপ (Total Pressure) পাওয়া যাবে। উপাদানগুলির ভিন্ন ভিন্ন চাপকে বলা হয় অংশ-চাপ (Partial Pressure)। **অতএব, কোনো আবদ্ধ গ্যাস-মিশ্রণের কোনো একটি উপাদান যদি একক ভাবে মিশ্রণ কর্তৃক অধিকৃত সমগ্র আয়তন অধিকার করে তবে গ্যাসীয় উপাদানটি আবদ্ধ পাত্রে যে চাপ প্রদান করে সেই চাপই ঐ উপাদানের অংশ-চাপ।**

উপরিউক্ত পরীক্ষার ফলাফলকে ডাল্টন একটি সাধারণ (general) সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন। এই সূত্রটিই **ডাল্টনের অংশ-চাপ সূত্র**। সূত্রটি নিম্নরূপ :

পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়াহীন বিভিন্ন উপাদানের মিশ্রণে গঠিত কোনো আবদ্ধ গ্যাসীয় মিশ্রণের সমগ্র চাপ তার উপাদানগুলির দ্বারা প্রযুক্ত অংশ-চাপসমূহের সমষ্টির সমান।

কোনো গ্যাসীয় মিশ্রণে p_1, p_2, p_3 ইত্যাদি যদি উপাদানগুলির অংশ-চাপ হয়, তবে মিশ্রণের সমগ্র চাপ, $P = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots$

আবার, T-উষ্ণতায় V আয়তনের কোনো গ্যাসীয় মিশ্রণে যদি প্রথম উপাদানের n_1 মোল, দ্বিতীয় উপাদানের n_2 মোল, তৃতীয় উপাদানের n_3 মোল, ইত্যাদি উপস্থিত থাকে তবে—

1ম গ্যাসীয় উপাদানের অংশ-চাপ, $p_1 = n_1 \dfrac{RT}{V}$

2য় ,, ,, ,, ,, $p_2 = n_2 \dfrac{RT}{V}$

3য় ,, ,, ,, ,, $p_3 = n_3 \dfrac{RT}{V}$, ইত্যাদি।

$$\therefore \quad P = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots$$

$$= \frac{RT}{V}\left(n_1 + n_2 + n_3 + \ldots\right)$$

এই সমীকরণটি গ্যাসীয় মিশ্রণের অবস্থার সমীকরণ। এই সমীকরণ বয়েল, চার্লস, অ্যাভোগাড্রো ও ডাল্টনের অংশ-চাপ সূত্রের সমন্বয়ে গঠিত। $\dfrac{\text{মোল-সংখ্যা}}{\text{আয়তন}}$ এই অনুপাতটি গাঢ়ত্ব প্রকাশ করে বলে অংশ-চাপ $=$ গাঢ়ত্ব $\times RT$। অর্থাৎ, $p = cRT$ (c = গাঢ়ত্ব)

মোল-ভগ্নাংশ (Mole fraction) : A ও B দুইটি পদার্থের মিশ্রণে যদি A-এর n_a মোল-কণা এবং B-এর n_b মোল-কণা উপস্থিত থাকে তবে **কোনো একটি উপাদানের কণার মোল-ভগ্নাংশ হবে ঐ উপাদানের কণার মোল-সংখ্যা ও উপস্থিত সকল উপাদানের কণার মোল-সংখ্যার সমষ্টির অনুপাত।**

এক্ষেত্রে, A-কণার মোল-ভগ্নাংশ $= \frac{n_a}{n_a+n_b}$ এবং

B ,, ,, ,, $= \frac{n_b}{n_a+n_b}$

কোনো একটি উপাদানের অংশ-চাপ = এটির মোল-ভগ্নাংশ × সমগ্র চাপ

$\therefore$ p = মোল-ভগ্নাংশ × P।

ডাল্টনের পরীক্ষার ফলে গ্যাসীয় পদার্থের যে ধর্মটি প্রকাশ পেল তা হচ্ছে—**কোনো গ্যাসীয় মিশ্রণে উপস্থিত কোনো একটি উপাদান মিশ্রণের সমগ্র আয়তন অধিকার করে।**

8.9 নং গাণিতিক উদাহরণ : কোনো গ্যাসীয় মিশ্রণে 760 mm চাপে আয়তন অনুপাতে 65% নাইট্রোজেন, 15% অক্সিজেন ও 20% CO_2 আছে। mm-এ প্রতিটি উপাদানের অংশ-চাপ কত ?

সমাধান : কোনো একটি উপাদানের ক্ষেত্রে, $p_i = \frac{v_i}{V} \times P$

P = সমগ্র চাপ = 760 mm, V = মিশ্রণের সমগ্র আয়তন = 100

p_i = একটি উপাদানের অংশ-চাপ

$$\therefore \; p_{N_2} = \frac{65}{100} \times 760 \text{ mm} = 494 \text{ mm}$$

$$p_{O_2} = \frac{15}{100} \times 760 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$$

$$p_{CO_2} = \frac{20}{100} \times 760 \text{ mm} = 152 \text{ mm}$$

অংশ-চাপ সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of Dalton's law of partial pressure) : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উদ্ভূত গ্যাসের আয়তন মাপার জন্য এই সূত্রের সাহায্য লওয়া হয়। সাধারণতঃ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাসটিকে জলের নিম্নাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়। তারপর গ্যাস ভর্তি জারটিকে উল্টানো অবস্থাতেই জলে নিমজ্জিত করে জারের ভিতরের ও বাইরের জলতল সমান করা হয় যাতে গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। এখন, জলের উপর সংগৃহীত বলে গ্যাসটি জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত থাকে। এইজন্য গ্যাস কর্তৃক প্রযুক্ত চাপ বাস্তবিক জলীয় বাষ্প ও অনার্দ্র গ্যাসের অংশ-চাপের সমষ্টি।

অর্থাৎ, আর্দ্র গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ, $P = p_1 + p_2$

যেখানে p_1=অনার্দ্র গ্যাসের অংশ-চাপ এবং p_2=জলীয় বাষ্পের অংশ-চাপ

$$\therefore \quad p_1 = P - p_2$$

জলীয় বাষ্পের চাপকে **জলীয় টান** (Aqueous Tension) বলা হয়। এই জলীয় টান জেনে গ্যাসের সমগ্র চাপ থেকে বিয়োগ করে অনার্দ্র গ্যাসের চাপ পাওয়া যায়।

8.10 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ 23°C উষ্ণতায় জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা সংগৃহীত অক্সিজেনের চাপ 750 mm ও আয়তন 90 ml হলে S.T.P-তে শুষ্ক গ্যাসের আয়তন কত হবে ?
(23°C উষ্ণতায় জলীয় টান, f=21 mm.)

সমাধান ঃ বয়েল ও চার্লসের সংযুক্ত সূত্র থেকে পাওয়া যায়—

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

এখানে, $V_1 = 90$ ml ; P_1=অনার্দ্র গ্যাসের চাপ

$= (750 - 21)$ বা, 729 mm

$T_1 = 23° + 273° = 296°K$

V_2=নির্ণেয় আয়তন ; $P_2 = 760$ mm, $T_2 = 273°K$

$$\therefore \quad V_2 = \frac{729 \text{ mm} \times 90 \text{ ml}}{290°K} \times \frac{273°K}{760 \text{ mm}} = 79{\cdot}5 \text{ ml}$$

8.6 গ্যাসের ব্যাপন ও গ্রাহামের গ্যাস-ব্যাপন সূত্র (Gaseous diffusion and Graham's law of gaseous diffusion) ঃ গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থের একটি বিশেষ সাধারণ ধর্ম তার ব্যাপন বা ব্যাপ্তি। এর কারণ গ্যাসগুলির পরস্পরের সঙ্গে মিশ্রিত হবার সহজাত প্রবণতা আছে (গ্যাসের অণুগুলির স্বাধীন গতিই এর কারণ)। কোনো ঘরের এক কোণে যদি একটু হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস ছাড়া হয় তবে তার গন্ধ (পচা ডিমের গন্ধের ন্যায়) সারা ঘরে কিছুক্ষণের মধ্যেই ছড়িয়ে পড়ে। এক্ষেত্রে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে গ্যাসটি চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং সত্বর ঘরের বায়ুর সঙ্গে একটি সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরী করে। **যে ধর্মের জন্য (i) গ্যাসের অণুগুলি স্বাধীনভাবে বিচরণ করে আধারের দেওয়ালের সীমার মধ্যে সর্বত্র সমান ঘনত্বে বর্তমান থাকে** এবং **(ii) বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি**

পরস্পরের সঙ্গে সহজেই সমসত্ত্বভাবে মিশে যায় তাকে ব্যাপন (Diffusion) বলা হয়।

আবার, সচ্ছিদ্র (Porous) দেওয়ালযুক্ত কোনো পাত্রে গ্যাস রাখলে তা পাত্র থেকে বেরিয়ে যায়। এটাও গ্যাসের ব্যাপন ধর্মের প্রকাশ। বিভিন্ন গ্যাসের ক্ষেত্রে ব্যাপনের হার বিভিন্ন। গ্যাস-ব্যাপনের হার সম্পর্কে সর্বপ্রথম গবেষণা করেন থমাস গ্রাহাম (Thomas Graham, 1846) এবং তাঁর গবেষণালব্ধ ফল একটি সূত্রাকারে প্রকাশ করেন। এইটিই গ্রাহামের গ্যাস-ব্যাপন সূত্র। সূত্রের বিবরণ ও ব্যাখ্যা দেবার পূর্বে ব্যাপনের হার বলতে কি বোঝায় সেটা বলা দরকার।

যে-কোনো একটি নির্দিষ্ট সচ্ছিদ্র দেওয়ালের মধ্য দিয়ে প্রতি একক সময়ে (প্রতি সেকেণ্ডে) যে পরিমাণ গ্যাস নির্গত হয় সেই পরিমাণকে সেই গ্যাসের ব্যাপনের হার (rate of diffusion) বলে। সাধারণতঃ গ্যাসের পরিমাণ আয়তনে প্রকাশ করা হয় এবং পরীক্ষার সময় উষ্ণতা ও চাপ অপরিবর্তিত রাখা হয়। অতএব, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে একটি নির্দিষ্ট সচ্ছিদ্র প্রাচীরের মধ্য দিয়ে t sec-এ একটি ব্যাপীত গ্যাসের আয়তন যদি Vml হয়, তবে ঐ গ্যাসের ব্যাপন হার, $r=\frac{V}{t}$ ml/sec।

গ্রাহামের গ্যাস-ব্যাপন সূত্র (Graham's law of gaseous diffusion)ঃ নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ব্যাপনের হার তার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ, যে গ্যাস যত লঘু তার ব্যাপন-হার তত বেশী।

কোনো গ্যাসের ঘনত্ব ρ এবং ব্যাপন-হার r হলে,

$$r \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}, \text{ বা, } r \propto \frac{1}{\sqrt{D}}$$

(D=গ্যাসের বাষ্পীয় ঘনত্ব)।

অথবা, $r=\frac{k}{\sqrt{\rho}}$, k=ধ্রুবক।

কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব (M) তার বাষ্প-ঘনত্বের (D) দ্বিগুণ (M=2D)।

$$\therefore \quad r \propto \frac{1}{\sqrt{M/2}}, \text{ বা } r \propto \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{M}},$$

বা, $r = \frac{k_1}{\sqrt{M}}$ (k_1=ধ্রুবক)।

অতএব, নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ব্যাপনের হার তার আণবিক গুরুত্বের বর্গমূলের ব্যস্ত অনুপাতের পরিবর্তিত হয়।

এবার নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে একই প্রাচীরের মধ্য দিয়ে দুইটি ভিন্ন গ্যাসের ব্যাপন-হার বিচার করা যাক। ধরা যাক, একটি গ্যাসের ব্যাপন-হার r_1, অপরটির r_2 এবং তাদের বাষ্পীয় ঘনত্ব যথাক্রমে D_1 ও D_2।

$$\therefore \quad r_1 = \frac{k}{\sqrt{D_1}} \quad \text{এবং} \quad r_2 = \frac{k}{\sqrt{D_2}}$$

$$\therefore \quad \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}}, \quad \text{বা,} \quad \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

(M_1 ও M_2 গ্যাস দুইটির আঃ গুঃ)।

গ্যাস-আধারের দেওয়ালে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র করে দিলে দেখা যায় ঐ পথেই গ্যাস নির্গত হয়। চাপ প্রয়োগে একটি সূচীমুখ (Pin hole) ছিদ্র পথে গ্যাস বের করার প্রক্রিয়াকে **অভিব্যাপন (Effusion) বলা হয়।** গ্যাসের অভিব্যাপনও গ্রাহামের সূত্র মেনে চলে।

গ্যাস ব্যাপনের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application) :

(i) কোনো গ্যাসের ব্যাপনের হার তার আণবিক গুরুত্বের ব্যস্তানুপাতিক বলে যে গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব যত বেশী তার ব্যাপন-হার তত কম। অতএব, লঘু ও ভারী দুইটি গ্যাসের মিশ্রণকে যদি সচ্ছিদ্র দেওয়ালের মধ্য দিয়ে বার বার ব্যাপীত হতে দেওয়া যায় তবে লঘু গ্যাসটিকে (যার আণবিক গুরুত্ব কম) মিশ্রণ থেকে আলাদা করা যায়। এই প্রক্রিয়াকে বলে **চাপ-বিশ্লেষণ (Atmolysis)**। এই প্রক্রিয়ায় আইসোটোপের মিশ্রণকে পৃথক করা সম্ভব হয়েছে।

(ii) ধরা যাক, v ml একটি গ্যাসের, একটি নির্দিষ্ট সচ্ছিদ্র প্রাচীরের মধ্য দিয়ে নির্গত হতে সময় লাগে t_1 sec এবং একই উষ্ণতা ও চাপে v ml অপর একটি গ্যাসের সেই সচ্ছিদ্র প্রাচীরের মধ্য দিয়ে নির্গত হতে সময় লাগে t_2 sec।

$$\therefore \quad r_1 = \frac{v}{t_1} \quad \text{এবং} \quad r_2 = \frac{v}{t_2}$$

আবার, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ (M_2 ও M_1 গ্যাস দুইটির আঃ গুঃ)

$$\therefore \frac{v/t_1}{v/t_2}=\sqrt{\frac{M_2}{M_1}}, \text{ অথবা, } \frac{t_2}{t_1}=\sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

যদি r_1 ও r_2 পরীক্ষাদ্বারা নির্ণয় করা যায় এবং M_2 ও M_1-এর মধ্যে একটি জ্ঞাত হয় তবে অপরটির মান সহজেই গণনা করা যায়।

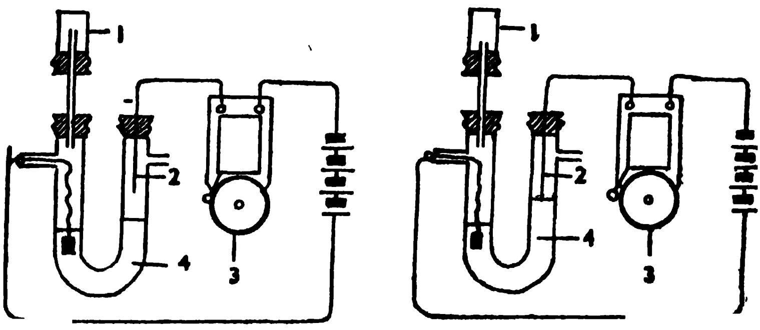
8.11 নং গাণিতিক উদাহরণ ঃ একটি নির্দিষ্ট সছিদ্র দেওয়ালের মধ্য দিয়ে 180 ml মিথেন 15 মিনিটে এবং সেই দেওয়ালের মধ্য দিয়ে 120 ml SO_2 20 মিনিটে ব্যাপীত হতে পারে। SO_2-এর আঃ গুঃ 64 হলে মিথেনের আঃ গুঃ নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ ধরা যাক, মিথেনের আঃ গুঃ = M

$$\therefore \frac{180 \text{ ml}/15 \text{ min}}{120 \text{ ml}/20 \text{ min}}=\sqrt{\frac{64}{M}} \quad \therefore \frac{8}{\sqrt{M}}=2 \text{ বা, } M=16$$

(iii) মার্স-গ্যাস-অ্যালার্মে এই প্রক্রিয়া কাজে লাগানো হয়। খনিতে মার্স-গ্যাস জমে গেলে বিস্ফোরণ ঘটে। গ্যাস জমেছে কিনা তা জানার জন্য যে সংকেত ব্যবহৃত হয় তাই মার্স-গ্যাস-অ্যালার্ম নামে পরিচিত।

চিত্রানুরূপ (8.6.1a এবং 8.6.1 b নং চিত্র) একটি সার্কিট তৈরী করা হয়।



1. সছিদ্র পাত্র 2. বর্তনীর তার 3. বেল 4. U-টিউবে পারদ

8.6.1 নং চিত্র

প্রথমে U-টিউবের ডান দিকের বাহুতে পারদ সার্কিটের তার স্পর্শ করে থাকে না। জমে-যাওয়া মার্স-গ্যাস যখন সছিদ্র পাত্রের মধ্য দিয়ে ব্যাপন প্রণালীতে U-টিবের বাঁ দিকের বাহুর স্তরে ধাক্কা দেয় তখনই ডান বাহুতে পারদ-স্তর উঠে এসে বর্তনীর (Circuit) তার স্পর্শ করে এবং এর সঙ্গে যুক্ত বৈদ্যুতিক ঘণ্টা বেজে ওঠে।

প্রশ্নাবলী

(A) সাধারণ ঃ

1. গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থ কি কি উল্লেখযোগ্য ধর্ম প্রকাশ করে? ঐ ধর্মগুলি কিভাবে পরিমাপ করা যায়?

2. গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে চাপের সম্পর্ক যে সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা হয় তা বিবৃত কর। একটি গাণিতিক সমীকরণের সাহায্যে সূত্রটিকে প্রকাশ কর। গ্যাসের ঘনত্বের উপর চাপের প্রভাব কি?

3. অপরিবর্তিত চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন যে তার পরম উষ্ণতার সঙ্গে সমানুপাতিক চার্ল্স কিভাবে তা উপপাদন করেন?

4. চার্লসের সূত্র বিবৃত কর। পরীক্ষার সাহায্যে কি ভাবে তিনি এই প্রাকৃতিক সূত্রটি আবিষ্কার করেন? গ্যাসের উষ্ণতা ও ঘনত্বের সঙ্গে সম্পর্ক কি?

5. অবস্থার সমীকরণ কাকে বলে? গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে অবস্থার সমীকরণটি কি? কিভাবে ঐ সমীকরণ উপপাদন করা যায়?

6. সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক কাকে বলে? বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয়ে যে ধ্রুবকটি পাওয়া যায় তার সঙ্গে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবকের পার্থক্য কি? গ্যাস ধ্রুবকের বিভিন্ন মানের উল্লেখ কর।

7. প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপ কাকে বলে? উষ্ণতার চরম স্কেল কি? চরম স্কেলের সাহায্যে উষ্ণতা প্রকাশে সুবিধা কি? গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতার পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

8. কোনো গ্যাসীয় মিশ্রণের কোনো একটি উপাদানের অংশ-চাপ বলতে কি বোঝ? অংশ-চাপ সম্পর্কীত ডাল্টনের সূত্রটী বিবৃত কর। বয়েলের, চার্লসের, অ্যাভোগাড্রোর সূত্রত্রয়ের ও ডাল্টনের অংশ-চাপ সূত্রের সমন্বয় করে গ্যাসীয় পদার্থের একটি সমীকরণ নির্ণয় কর। অংশ-চাপ সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

9. গ্যাসের ব্যাপন কাকে বলে? গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রটি কি? এই সূত্রের সাহায্যে কিভাবে একটি গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়?

(B) গাণিতিক ঃ

1. $17^{o}C$ উষ্ণতায় ও 740 mm চাপে 21·5 ml অক্সিজেন পারদের উপর সংগ্রহ করা হলো। পরদিন উক্ত গ্যাসের আয়তন 740 mm চাপে যদি 22·1 ml হয় তবে উষ্ণতার কি পরিবর্তন হয়েছিল? (উত্তর $25^{o}C$)

2. S.T.P.-তে 1 লিটার কার্বন ডাইঅক্সাইডের ভর যদি 1·98g হয় তবে $15^{\circ}C$ উষ্ণতায় এবং 675 mm চাপে ঐ গ্যাসের ঘনত্ব কত?

(উত্তর 1·67 g/l)

3. একটি আবদ্ধ কাঁচের বাল্বে 27°C উষ্ণতায় এবং 750 mm চাপে হিলিয়াম গ্যাস আছে। বাল্বটিকে -73°C উষ্ণতায় শীতল করলে অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের চাপ কত হ্রাস পাবে ? (উত্তর 250 mm)

4. 20°C উষ্ণতায় এবং 760 mm চাপে 0·667 মোল অ্যালুমিনিয়াম লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় কত আয়তনের হাইড্রোজেন বিমুক্ত করে ? (উত্তর 24·2 লিটার)

5. 27°C উষ্ণতায় এবং 780 mm চাপে 0·500 লিটার হাইড্রোজেন উৎপন্ন করতে হলে কত মোল জল সোডিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া করবে ? (উত্তর 0·0416 মোল)

6. 0·957 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এবং 22°C উষ্ণতায় 40 লিটার নাইট্রোজেন জলের নিম্ন অপসারণের দ্বারা সংগ্রহ করা হলো। S.T.P.-তে শুষ্ক গ্যাসের আয়তন কত হবে ? 22°C উষ্ণতায় জলীয়বাষ্পের চাপ 19·76 mm। (উত্তর 34·4 লিটার)

7. 98°C উষ্ণতায় এবং 0·974 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে একটি অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব 2·50g/*l*। ঐ গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক গুরুত্ব কত। (উত্তর 78·1)

8. 250 ml মিথেন (CH_4) গ্যাস 16 সেকেণ্ডে একটি সূচীছিদ্র পথে ব্যাপীত হয়। একই উষ্ণতায় এবং চাপে 1500 ml SO_2 ঐ ছিদ্র পথে ব্যাপীত হতে কত সময় লাগবে ? (উত্তর 192 সেকেণ্ড)

9. ব্যাপনের হার অনুযায়ী নিম্নলিখিত গ্যাসগুলিকে সাজাও :

N_2, He, H_2, CH_4, OH_2, O_2। একই পদার্থের তৈরী দুইটি সম-আয়তনের সছিদ্র পাত্রের একটিতে H_2 এবং অপরটিতে অক্সিজেন রাখা আছে। উভয় গ্যাসের উষ্ণতা ও চাপ সমান। 1 ঘণ্টা পরে যদি 880 ml H_2 ব্যাপীত হয় তবে ঐ সময়ে কতটা অক্সিজেন ব্যাপীত হবে ? (উত্তর 220 ml)

নবম অধ্যায়

ভর-ক্রিয়া সূত্র ও রাসায়নিক স্থিতাবস্থা

(Law of mass action and chemical equilibrium)

9.1 সূচনা (Introduction) : বিভিন্ন বিজ্ঞানীর গবেষণার ফলে রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পর্কে কতকগুলি বিষয় জানা গেছে। সেগুলি হল : (i) রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রায়ই সম্পূর্ণ হয় না, (ii) বিক্রিয়ার গতি উভমুখী, (iii) বিক্রিয়ার গতি এবং দিক কতকগুলি বাহ্যিক অবস্থার (যেমন, উষ্ণতা, চাপ, দ্রাবকের উপস্থিতি ও প্রকৃতি ইত্যাদির) উপর নির্ভরশীল এবং (iv) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবান্বিত করে। শেষোক্ত বিষয়টি, অর্থাৎ বিক্রিয়ার গতির উপর বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণের প্রভাব মাত্রিকদিক থেকে বিশদভাবে পরীক্ষা করেন গুলবার্গ ও ভাগে (Guldberg and Waage, 1867) এবং তাঁদের পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্ত একটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করেন যেটি ভর-ক্রিয়া সূত্র নামে খ্যাত।

9.2 ভর-ক্রিয়া সূত্র (Law of mass action) : নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি বিক্রিয়কগুলির প্রত্যেকটির সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক। অর্থাৎ, বিক্রিয়কগুলির সক্রিয় ভরের হ্রাস বা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়ার গতি কমে বা বাড়ে। সাধারণভাবে যে-কোনো বিক্রিয়কের আণব গাঢ়ত্বকে (Molar Concentration-কে) সেটির **সক্রিয় ভর** ধরা হয় এবং একক সময়ে বিক্রিয়কের হ্রাসের পরিমাণের দ্বারা **বিক্রিয়ার গতি** মাপা হয়।

মনে করা যাক, P ও Q পদার্থ দুইটি বিক্রিয়া করে L ও M উৎপন্ন করে :

$$P+Q \rightarrow L+M$$

যদি C_p ও C_q যথাক্রমে P ও Q-এর আণব গাঢ়ত্ব হয়, তবে ভর-ক্রিয়া সূত্রানুযায়ী, এই বিক্রিয়ার গতি (V) হবে,

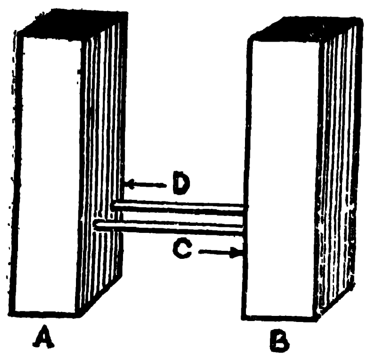
$$V \propto C_p \text{ এবং } V \propto C_q$$

অর্থাৎ $V \propto C_q . C_p$, বা, $V = k_1 C_q . C_p$ (k_1 = ধ্রুবক)

9.3 রাসায়নিক স্থিতাবস্থা (Chemical equilibrium) : পূর্বেই আলোচনা করা হয়েছে যে, রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি উভমুখী এবং কোনো

রাসায়নিক বিক্রিয়া আরম্ভ হওয়ার কিছুক্ষণ পরে এক বিশেষ স্তরে গিয়ে আপাতঃ দৃষ্টিতে বন্ধ হয়ে যায় অসম্পূর্ণ ভাবে। এই অবস্থাকে বলা হয় স্থিতাবস্থা। পূর্বে বিজ্ঞানীরা মনে করতেন স্থিতাবস্থায় পৌঁছলে সকল বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। সুতরাং তাঁরা ধারণা করতেন রাসায়নিক স্থিতাবস্থা একটি স্থির স্থিতাবস্থা ((Static equilibrium)। কিন্তু বিজ্ঞানী এ. ডাব্লু. উইলিয়ামশান্ (A. W. Williamson, 1850) সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে, রাসায়নিক স্থিতাবস্থা একটি গতিশীল স্থিতাবস্থা (Dynamic equilibrium) এবং তিনিই বলেন, কোনো বিক্রিয়া আরম্ভ হওয়ার কিছুক্ষণ পরে তা বন্ধ হয়ে গেছে বলে মনে হওয়ার কারণ তখন বিক্রিয়কগুলির মধ্যে বিক্রিয়ার গতি এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মধ্যে বিক্রিয়ার গতি সমান। নিম্নে একটি উদাহরণ দ্বারা গতিশীল স্থিতাবস্থা বোঝান হচ্ছে ঃ

ধরা যাক, A ও B পাত্র দুইটি (9.3.1 নং চিত্র) একমুখী ভাল্ব যুক্ত দুইটি পাইপ C ও D দ্বারা যুক্ত। C পাইপ দ্বারা জল A থেকে B-তে যায় কিন্তু একই



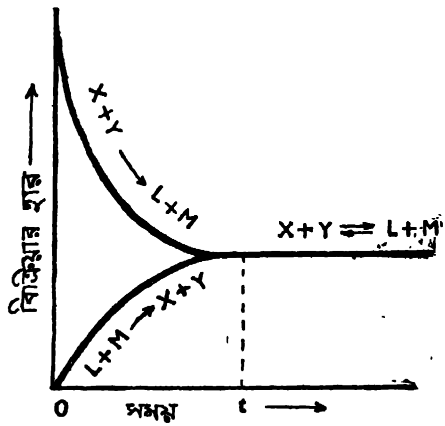
9. 3. 1 নং চিত্র

পাইপ দিয়ে ফিরে আসে না, ফিরে আসে D দ্বারা B থেকে A-তে। C ও D পাইপ দুইটি ভূমি থেকে একই উচ্চতায় আছে। প্রথমে B পাত্র শূন্য রেখে A পাত্র জল পূর্ণ করা হল। স্বভাবতঃই A পাত্র থেকে জল C পাইপ দ্বারা দ্রুতবেগে B পাত্রে প্রবেশ করবে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত না B পাত্রে জলস্তর পাইপের উচ্চতায় আসে ততক্ষণ এই প্রক্রিয়া চলবে এবং B থেকে A-তে জল প্রবেশ করবে না। জলস্তর পাইপের উচ্চতায় পৌঁছলেই D পথে B থেকে A-তে জল প্রবেশ করবে এবং লক্ষ্য করা যাবে যে, তখন A থেকে B-তে জল প্রবাহের গতি ক্রমহ্রাসমান এবং বিপরীত প্রবাহের গতি, অর্থাৎ B

থেকে A-তে প্রবাহের গতি, ক্রমবর্দ্ধমান। এই অবস্থা চলবে ততক্ষণই যতক্ষণ না উভয় পাত্রে জলস্তরের উচ্চতা সমান হয়। তখন কোন নীট (Net) পরিবর্তন হয় না। কিন্তু জল প্রবাহ তখনও চলতে থাকে একই হারে। বন্ধ যে হয় না তার প্রমাণ, কোনো একটি পাত্রে ঐ অবস্থায় (অর্থাৎ, জলস্তর যখন দুই পাত্রেই সমান) একটি রং ফেলে দিলে তা অন্য পাত্রেও সঞ্চালিত হয়। একেই বলে গতিশীল স্থিতাবস্থা (Dynamic equilibrium)।

সকল রাসায়নিক বিক্রিয়াই গতিশীল স্থিতাবস্থার উদাহরণ। স্থিতাবস্থায় রাসায়নিক সমীকরণ লেখার সময় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত দ্রব্যের মধ্যে একটি উভমুখী চিহ্ন ($\rightleftharpoons$) ব্যবহার করা হয়। তত্ত্বের দিক থেকে সকল বিক্রিয়াই উভমুখী হলেও কোনো কোনো ক্ষেত্রে বিপরীত বিক্রিয়া (অর্থাৎ বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের উৎপত্তি) এত ধীরে ঘটে যে, ব্যবহারিক দিক থেকে বিক্রিয়াটিকে একমুখীই বলা হয়।

রাসায়নিক স্থিতাবস্থা ও ভরক্রিয়া সূত্র (Chemical equilibrium and Law of mass action) ঃ মনে করা যাক, $X+Y \rightleftharpoons L+M$-একটি উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া। অর্থাৎ, X ও Y বিক্রিয়া করে যেমন L ও M



9. 3. 2 নং চিত্র

উৎপন্ন করে, বিপরীত দিকে L ও M বিক্রিয়া করে X ও Y উৎপন্ন করে। এখন, ঠিক যে-মুহূর্তে X ও Y মেশানো হয়েছিল সে-মুহূর্তে Y-এর সঙ্গে X-এর বিক্রিয়ার হার (সম্মুখ বিক্রিয়ার হার) ছিল সবচেয়ে বেশী এবং M-এর সঙ্গে L-এর বিক্রিয়ার হার (বিপরীত বিক্রিয়ার হার) সবচেয়ে কম।

তারপর সময়ের সঙ্গে সঙ্গে X ও Y-এর পরিমাণ অর্থাৎ, বিক্রিয়ার হার ক্রমশঃ কমতে থাকে ; অপরদিকে L ও M-এর পরিমাণ অর্থাৎ, বিপরীত বিক্রিয়ার হার ক্রমশঃ বাড়তে থাকে। একটি স্তরে গিয়ে উভয় বিক্রিয়ার হার সমান হয়। তখন বিক্রিয়কের বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণগত নীট (Net) পরিবর্তন হয় না। 9. 3. 2 নং চিত্রে এই অবস্থা বোঝানো হয়েছে।

সুতরাং যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াতেই নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও চাপে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের মধ্যে নির্দিষ্ট সময় পরে একটি স্থিতাবস্থার সৃষ্টি হয়।

এখন সম্মুখ বিক্রিয়ার ($X+Y \rightarrow L+M$) হার যদি ধরা যায় V_f তবে ভর-ক্রিয়ার সূত্রানুযায়ী X ও Y-এর আণব গাঢ়ত্বের (Molar concentration) সঙ্গে V_f যুক্তভাবে সমানুপাতিক। অর্থাৎ,

$$V_f \propto C_x C_y, \quad (C_x \text{ ও } C_y \text{ যথাক্রমে X ও Y-এর আণব গাঢ়ত্ব) ।}$$

$$\text{অথবা, } V_f = k_1 C_x C_y, \ (k_1 = \text{ধ্রুবক})$$

অনুরূপভাবে, V_b যদি হয় বিপরীত বিক্রিয়ার ($L+M \longrightarrow X+Y$) হার এবং C_l ও C_m যথাক্রমে L ও M-এর আণব গাঢ়ত্ব, তবে

$$V_b = k_2 C_l C_m, \ (k_2 = \text{ধ্রুবক})$$

যখন বিক্রিয়া স্থিতাবস্থায় আসে তখন উভয় বিক্রিয়ার হার সমান হয়। তখন, $V_f = V_b$, অথবা, $k_1 C_x C_y = k_2 C_l C_m$,

$$\text{বা, } \frac{C_l C_m}{C_x C_y} = \frac{k_1}{k_2} = K_c, \ (K_c \text{ একটি নূতন ধ্রুবক) ।}$$

K_c-কে বলা হয় **স্থিতাবস্থার ধ্রুবক** (Equilibrium constant)। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি গ্যাসীয় হলে তাদের গাঢ়ত্ব তাদের অংশ-চাপ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সে-ক্ষেত্রে, অংশ-চাপ আণব গাঢ়ত্বের সঙ্গে সমানুপাতিক বলে C_x, C_y, C_l ও C_m কে যথাক্রমে p_x, p_y, p_l ও p_m দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা যায়। তখন ধ্রুবকটি লেখা হয়;

$$K_p = \frac{p_l p_m}{p_x p_y}$$

উপরে যে বিক্রিয়াটির উল্লেখ করা হয়েছে তাতে এক অণু X, এক অণু Y-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে এক অণু L ও এক অণু M উৎপন্ন করে। তা না

হয়ে যদি a সংখ্যক X-এর অণু b সংখ্যক Y-এর অণুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে p সংখ্যক L-এর অণু ও q সংখ্যক M-এর অণু উৎপন্ন করে তবে

$$K_c=\frac{C_l^{p}.C_m^{k}}{C_x^{a}.C_y^{b}} \text{ এবং } K_p=\frac{p_l^{p}.p_m^{q}}{p_x^{a}.p_y} \text{ হবে।}$$

সুতরাং বলা যায়, $aX+bY+cZ+\ldots\rightleftharpoons pL+qM+rN+\cdots$

যদি স্থিতাবস্থায় একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া বোঝায় তবে $\frac{C_l^{p}.C_m^{q}.C_n^{r}}{C_x^{a}.C_y^{b}.C_z^{c}}$

বা, $\frac{p_l^{p}.p_m^{q}.p_n^{r}\ldots\ldots}{p_x^{a}.p_y^{b}.p_z^{c}\ldots\ldots}$ রাশিটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সর্বদা ধ্রুবক হবে।

এটাই হচ্ছে **রাসায়নিক স্থিতাবস্থার সূত্র (Law of chemical equilibrium)**। রীতি অনুযায়ী, বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্বের গুণফল রাশিটির লব এবং বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের গুণফল হর হিসাবে বসানো হয়।

K_p ও K_c-এর মধ্যে সম্পর্ক (Relation between K_p and K_c) : মনে করা যাক, $aX+bY\rightleftharpoons cL+dM$—একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া।

$$\therefore\quad K_c=\frac{C_l^{c}.C_m^{d}}{C_x^{a}C_y^{b}} \text{ এবং } K_p=\frac{p_l^{c}p_m^{d}}{p_x^{a}p_y^{b}}$$

আবার, অংশ-চাপ = গাঢ়ত্ব × RT

$$\therefore\quad p_l=C_l\,RT\ ;\ p_m=C_mRT\ ;\ p_x=C_x\,RT\ ;\ p_y=C_y\,RT$$

$$\therefore\quad K_c=\frac{\left(\frac{p_l}{RT}\right)^{c}\left(\frac{p_m}{RT}\right)^{d}}{\left(\frac{p_x}{RT}\right)^{a}\left(\frac{p_y}{RT}\right)^{b}}$$

$$=\frac{p_l^{c}p_m^{d}}{p_x^{a}p_y^{b}}\times(RT)^{(a+b)-(c+d)}$$

$$\therefore\quad K_c=K_p(RT)^{\triangle n}$$

$\triangle n$ = বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট অণু-সংখ্যা—বিক্রিয়কের মোট অণু-সংখ্যা। $H_2+Cl_2\rightleftharpoons 2HCl$—এই বিক্রিয়ায় $\triangle n=0$, অর্থাৎ, বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট অণু-সংখ্যা এবং বিক্রিয়কের মোট অণু-সংখ্যা সমান। এ ক্ষেত্রে $K_c=K_p$।

$N_2+3H_2\rightleftharpoons 2NH_3$—এই বিক্রিয়ায় $\triangle n=2-4=-2$

$PCl_5\rightleftharpoons PCl_3+Cl_2$—এই বিক্রিয়ায় $\triangle n=2-1=1$

আমরা আরও দেখেছি, অংশ-চাপ = মোল-ভগ্নাংশ × P, (P = মোট চাপ)

$\therefore \quad p_x = n_x P \ ; \ p_y = n_y P \ ; \ p_l = n_l P \ ; \ p_m = n_m P$

(n_x, n_y, n_l ও n_m যথাক্রমে X, Y, L এবং M-এর মোল-ভগ্নাংশ যা স্থিতাবস্থায় উপস্থিত থাকে)

$$\therefore \quad K_p = \frac{(n_l P)^c.(n_m P)^d}{(n_x P)^a.(n_y P)^b} = \frac{n_l^c n_m^d}{n_x^a n_y^b} \times P^{(c+d)-(a+b)}$$

$$\therefore \quad K_p = K_n P^{\Delta n}$$

বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলিকে মোল-ভগ্নাংশে প্রকাশ করলে স্থিতাবস্থার ধ্রুবকটিকে K_n লেখা হয় ।

যে সকল বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি একই ভৌত অবস্থায় থাকে তাদের ক্ষেত্রে যে স্থিতাবস্থা তাকে **সমসত্ত্ব স্থিতাবস্থা (Homogeneous equilibrium)** বলে । বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ-গুলি বিভিন্ন ভৌত অবস্থায় থেকে যে স্থিতাবস্থা সৃষ্টি করে তাকে **অসমসত্ত্ব স্থিতাবস্থা** (**Heterogeneous equilibrium**) বলে ।

সমসত্ত্ব স্থিতাবস্থার উদাহরণ : (i) অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও ইথাইল অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় এস্টার উৎপন্ন হওয়ার বিক্রিয়াটি একটি সমসত্ত্ব স্থিতাবস্থার উদাহরণ । এখানে সবগুলি পদার্থই তরল অবস্থায় বর্তমান ।

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

অ্যাসেটিক অ্যাসিড	ইথাইল অ্যালকোহল	এস্টার	
(a−x)	(b−x)	x	x

ধরা যাক, বিক্রিয়া আরম্ভ হওয়ার পূর্বে a মোল CH_3COOH এবং b মোল C_2H_5OH মেশানো হয়েছিল এবং স্থিতাবস্থায় x মোল এস্টার উৎপন্ন হয়েছে । মোট আয়তন V, ধরা হল ।

সুতরাং স্থিতাবস্থায় বিভিন্ন পদার্থের গাঢ়ত্ব নিম্নরূপ হবে :

উপাদান	বিক্রিয়া আরম্ভ হওয়ার পূর্বে পরিমাণ	স্থিতাবস্থায় পরিমাণ	গাঢ়ত্ব
CH_3COOH	a	a−x	$\frac{a-x}{V}$
C_2H_5OH	b	b−x	$\frac{b-x}{V}$
$CH_3COOC_2H_5$	o	x	$\frac{x}{V}$
H_2O	o	x	$\frac{x}{V}$

$$\therefore \quad K_c = \frac{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}}{\frac{a-x}{V} \times \frac{b-x}{V}} = \frac{x^2}{(a-x)(b-x)}$$

(ii) নাইট্রোজেন টেট্রক্সাইডের বিভাজন একটি সমসত্ত্ব স্থিতাবস্থার উদাহরণ।

$$\begin{array}{cc} N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2 \\ 1-\alpha \quad 2\alpha \end{array}$$

ধরা যাক, বিক্রিয়ার পূর্বে 1 মোল N_2O_4 নিয়ে আরম্ভ করা হয়েছিল এবং বিক্রিয়ায় N_2O_4-এর α-ভগ্নাংশ বিয়োজিত হয়। এই α-কে বলে **বিয়োজন-মাত্রা** (Degree of dissociation)। সুতরাং স্থিতাবস্থায় $(1-\alpha)$ মোল N_2O_4 এবং 2α মোল NO_2 থাকে।

$$\therefore \quad N_2O_4\text{-এর মোল-ভগ্নাংশ} = \frac{N_2O_4\text{-এর মোল-সংখ্যা}}{\text{মোট মোল-সংখ্যা}}$$

$$= \frac{1-\alpha}{1-\alpha+2\alpha} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$$

$$NO_2\text{-এর-মোল ভগ্নাংশ} = \frac{2\alpha}{1+\alpha}$$

$$\therefore \; N_2O_4\text{-এর-অংশ-চাপ}, \; p_{N_2O_4} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \times P$$

$$NO_2\text{-এর} \;\; ,, \;\; ,, \;\; p_{NO_2} = \frac{2\alpha}{1+\alpha} \times P$$

$$\therefore \; K_p = \frac{p_{NO_2}{}^2}{p_{N_2O_4}} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{1+\alpha} \times P\right)^2}{\left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha} \times P\right)} = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \times P$$

অর্থাৎ, চাপ বাড়ালে α-এর মান কমবে ; N_2O_4-এর বিয়োজন হ্রাস পাবে। অর্থাৎ, NO_2-এর পরিমাণ কমবে।

অসমসত্ত্ব স্থিতাবস্থার উদাহরণ ঃ $CaCO_3$-এর বিয়োজন, লাল-তপ্ত লোহার সঙ্গে স্টীমের বিক্রিয়া, লাল-তপ্ত কোকের সঙ্গে স্টীমের বিক্রিয়া ইত্যাদি অসমসত্ত্ব স্থিতাবস্থার উদাহরণ। এসব ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থসমূহের ভৌত অবস্থা বিভিন্ন।

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g) \;;$$

$$3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$$

$$C\,(s) + H_2O\,(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2\,(g)$$

(s=কঠিন, g=গ্যাসীয়)

9.1 নং গাণিতিক উদাহরণ: ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের বিয়োজনে PCl_3 ও Cl_2 উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় K_p-এর মান 1·8। 250°C উষ্ণতায় 50% PCl_5-কে বিয়োজিত করার জন্য কত চাপ প্রয়োজন?

সমাধান: বিক্রিয়াটি নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$$

এই সমীকরণের অর্থ হচ্ছে, 1 মোল PCl_5 সম্পূর্ণ বিয়োজিত হলে 1 মোল PCl_3 এবং 1 মোল Cl_2 উৎপন্ন হবে। যদি স্থিতাবস্থায় 50% বিয়োজন ঘটে তবে 0·5 মোল PCl_5 বিয়োজিত হবে 0·5 মোল অবিয়োজিত থাকবে। মনে রাখতে হবে, যত মোল PCl_5 বিয়োজিত হবে তত মোল PCl_5 এবং সেই পরিমাণ Cl_2 উৎপন্ন হবে।

∴ স্থিতাবস্থায় পাওয়া যায়, 0·5 মোল PCl_5, 0·5 মোল PCl_3 এবং 0·5 মোল Cl_2।

∴ মোট মোল-সংখ্যা=0·5+0·5+0·5=1·5

PCl_5-এর মোল-ভগ্নাংশ $=\frac{0·5}{1·5}$

PCl_3- ,, ,, ,, $=\frac{0·5}{1·5}$

Cl_2- ,, ,, ,, $=\frac{0·5}{1·5}$

মোট চাপ P হলে,

PCl_5-এর অংশ-চাপ, $pPCl_5=\frac{0·5}{1·5}\times P$

অনুরূপে, PCl_3-এর অংশ-চাপ, $pPCl_3=\frac{0·5}{1·5}\times P$

এবং Cl_2-,, ,, ,, $pCl_2=\frac{0·5}{1·5}\times P$

$$\therefore K_p=\frac{pPCl_3\times pCl_2}{pPCl_5}=\frac{\left(\frac{0·5}{1·5}\right)^2P^2}{\frac{0·5}{1·5}P}=\tfrac{1}{3}P$$

বা, $1·8=\frac{1}{3}P$, ∴ P=5.4 অ্যাটমস্ফিয়ার।

অতএব, প্রয়োজনীয় চাপ 5·4 atmos।

9.2 নং গাণিতিক উদাহরণ : 450°C উষ্ণতায় 50ml হাইড্রোজেন এবং 30 ml আয়োডিন গ্যাস একটি কাঁচের বাম্বে রাখা হল। স্থিতাবস্থায় যদি 71·6 ml HI–গ্যাস উৎপন্ন হয় তবে ঐ উষ্ণতায় কি পরিমাণে HI বিয়োজিত হবে ?

সমাধান :

$$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$$

স্থিতাবস্থায় : $(a-x)$ $(b-x)$ $2x$

$2x=71{\cdot}6$ ml, $\therefore$ $x=30{\cdot}8$ ml, $a-x=50-30{\cdot}8=19{\cdot}2$ ml এবং $b-x=36-30{\cdot}8=5{\cdot}2$ ml

$$\therefore \quad K=\frac{4x^2}{(a-x)(b-x)}=\frac{(4\times 30{\cdot}8)^2}{19{\cdot}2\times 5{\cdot}2}=38$$

যদি 450°C উষ্ণতায় HI-এর বিয়োজন মাত্রা α হয় তবে :

$$2HI \rightleftharpoons H_2+I_2, \text{ অথবা}$$
$$HI \rightleftharpoons \tfrac{1}{2}H_2+\tfrac{1}{2}I_2$$
$$(1-\alpha) \quad \frac{\alpha}{2} \quad \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \quad K=\frac{(1-\alpha)^2}{\frac{\alpha}{2}\times\frac{\alpha}{2}}=\frac{4(1-\alpha)^2}{\alpha^2}, \quad \therefore \quad 38=\frac{4(1-\alpha)^2}{\alpha^2}$$

$\therefore$ $\alpha=0{\cdot}245$। অর্থাৎ, HI-এর বিয়োজন 24·5%।

9.4 লা শ্যাট্‌এলিয়ারের নীতি (Le Chatelier Principle) : একথা পূর্বে আলোচিত হয়েছে যে, যখন কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া স্থিতাবস্থায় পৌঁছায় তখন তা সম্পূর্ণ হয় না। অর্থাৎ, তখন বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ উভয়েরই অস্তিত্ব থাকে এবং তাদের গাঢ়ত্বের নীট পরিবর্তন হয় না যতক্ষণ পর্যন্ত উষ্ণতা, চাপ অপরিবর্তিত থাকে এবং বাইরে থেকে কোনো পদার্থ যোগ করা না হয়। এবস্থায় পদার্থগুলির যে গাঢ়ত্ব তাকেই বলে স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্ব (Equilibrium concentration)। যদি উষ্ণতা, চাপ পরিবর্তিত হয় বা বাইরে থেকে কোনো পদার্থ যোগ করা হয় অথবা বিক্রিয়ায় উৎপন্ন একটি পদার্থকে সরিয়ে নেওয়া হয় তবে স্থিতাবস্থার কি পরিবর্তন হয় ? পদার্থগুলির স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বেরই বা কি পরিবর্তন ঘটে? নিয়ে বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষা থেকে যে সিদ্ধান্তে পৌঁছেছেন তা বর্ণনা করা হচ্ছে।

(i) স্থিতাবস্থার উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on equilibrium) ঃ যে-সকল বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ গ্যাসীয় সে-সব বিক্রিয়ার স্থিতাবস্থার উপর চাপের প্রভাব খুবই গুরুত্বপূর্ণ। নিম্নে দুইটি বিক্রিয়া উল্লেখ করা হচ্ছে ঃ

$$\text{(a)} \quad 2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$$

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি স্থিতাবস্থায় পৌঁছায়। স্থিতাবস্থায় হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড, হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের যে গাঢ়ত্ব তাকে তাদের স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্ব বলে। পরীক্ষা করে দেখা যায় যে, চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করলে তাদের গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হয় না। শুধু এই বিক্রিয়াই নয়, যে সমস্ত বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোট অণু-সংখ্যা (অর্থাৎ, গ্যাসীয় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তন) সমান সে-সব ক্ষেত্রে চাপের হ্রাস বা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বের পরিবর্তন হয় না। এক কথায়, এ জাতীয় বিক্রিয়ায় স্থিতাবস্থার উপর চাপের কোনো প্রভাব নেই।

$$\text{(b)} \quad PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$$

পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে, নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে বিক্রিয়াটি যে স্থিতাবস্থায় আছে (অর্থাৎ, সে অবস্থায় বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির যে স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্ব আছে) চাপ বাড়ালে বা কমালে সেই অবস্থার পরিবর্তন ঘটে। যদি চাপ কমানো যায় বিক্রিয়া বাঁদিক থেকে ডান দিকে (অর্থাৎ সম্মুখ বিক্রিয়ার হার বিপরীত বিক্রিয়ার হারের চেয়ে দ্রুততর হয়) অগ্রসর হয় এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব তার স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বের চেয়ে বেশী হয়। আর যদি চাপ বাড়ানো যায় তবে বিক্রিয়া ডান দিক থেকে বাঁদিকে অগ্রসর হয় এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব তার স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বের চেয়ে কম হয়। যে সকল বিক্রিয়ায় বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণু সমষ্টি (বা আয়তন) বিক্রিয়কের অণুসমষ্টি (বা আয়তন) অপেক্ষা বেশী সে-সব ক্ষেত্রে উপরিউক্ত প্রভাব লক্ষ্য করা যায়।

(ii) স্থিতাবস্থার উপর উষ্ণতার প্রভাব (Effect of temperature on equilibrium) ঃ যে-কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় হয় তাপের উদ্ভব নয় তাপের শোষণ হয়। যে বিক্রিয়ায় তাপের উদ্ভব হয় তাকে বলে **তাপোৎপাদক (Exothermic) বিক্রিয়া** ; আর তাপ শোষিত হলে **তাপশোষক**

(**Endothermic**) **বিক্রিয়া**। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া স্থিতাবস্থায় থাকা কালে তার উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে তার স্থিতাবস্থার কি পরিবর্তন হবে ?

নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন বিক্রিয়া করে নাইট্রিক অক্সাইড তৈরী করে এবং বিক্রিয়াটি তাপশোষক। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও স্থিতাবস্থায় নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা বিক্রিয়াটি প্রকাশ করা যায় ঃ

$$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO - \text{তাপ}$$

দেখা যায় উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে আরও অধিক নাইট্রিক অক্সাইড তৈরী হয় এবং বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে অগ্রসর হয়।

এবার একটি তাপোৎপাদক বিক্রিয়া নিয়ে আলোচনা করা যাক।

$$C + O_2 \rightleftharpoons CO_2 + \text{তাপ}$$

এই বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে দেখা যায় বিক্রিয়া বিপরীত দিকে অগ্রসর হয়। অর্থাৎ, $CO_2 \longrightarrow C + O_2$—এই বিক্রিয়ার হার, $C + O_2 \longrightarrow CO_2$—এই বিক্রিয়ার হার অপেক্ষা বেশী। স্বভাবতঃই কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কমে। যদি উষ্ণতা কমানো যায় তবে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার দ্রুততর হয় এবং অধিক কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। অতএব বলা যায় যে, তাপশোষক বিক্রিয়াগুলি বর্ধিত উষ্ণতায় অধিক বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে। আর যে সকল বিক্রিয়া তাপোৎপাদক নিম্ন উষ্ণতায় তারা অধিক বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে।

রাসায়নিক স্থিতাবস্থার উপর চাপ ও উষ্ণতার প্রভাবের যে ফলাফল উপরে আলোচনা করা হল তা গুণগতভাবে একটি নীতি দ্বারা বিজ্ঞানী ল্যাট্এলিয়ার সর্বপ্রথম প্রকাশ করেন। নীতিটি নিম্নরূপ ঃ

যে-সকল অবস্থার (অর্থাৎ, উষ্ণতা, চাপ, গাঢ়ত্ব ইত্যাদির) পরিপ্রেক্ষিতে একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া স্থিতাবস্থায় আছে তাদের কোনো একটির পরিবর্তন সাধন করলে বিক্রিয়া নিজেকে এমন পথে চালিত করবে যাতে পূর্বোক্ত পরিবর্তনকে, অন্ততঃ আংশিকভাবে রদ করতে সে সক্ষম হয়। এই নীতির আলোকে এবার স্থিতাবস্থার উপর উষ্ণতা ও চাপের প্রভাব আলোচনা করা যাক।

স্থিতাবস্থায় থাকাকালে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার উপর চাপ বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়াটি সেই পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করার চেষ্টা করবে। আবার, চাপ বৃদ্ধিকে প্রতিহত করার একমাত্র উপায় আয়তন সঙ্কুচিত করা, অর্থাৎ অণু-সংখ্যা হ্রাস পাওয়া। কারণ, অ্যাভোগাড্রোর

প্রকল্প অনুযায়ী, অণু-সংখ্যাই আয়তন নির্ধারণ করে। এই জন্যই $PCl_5 \rightleftharpoons Cl_2+PCl_3$—এই বিক্রিয়ায় চাপ বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়া ডান দিক থেকে বাঁদিক অগ্রসর হয় ($PCl_5 \leftarrow Cl_2+PCl_3$)। সেদিকে অগ্রসর হলে অণু-সংখ্যা কমবে এবং আয়তন সঙ্কুচিত হবে। অতএব PCl_5-এর বিয়োজনকে কমাতে হলে চাপ বৃদ্ধি করতে হবে এবং বিয়োজন বাড়াতে হলে চাপ কমানো প্রয়োজন।

এখন উষ্ণতার ফল ব্যাখ্যা করা যাক। $A+B \rightleftharpoons AB+$তাপ—এই বিক্রিয়াটি একটি তাপোৎপাদক বিক্রিয়া। বিক্রিয়াটিকে উল্টিয়ে লিখলে দাঁড়ায়—

$$AB \rightleftharpoons A+B-\text{তাপ}$$

এর অর্থ হচ্ছে : A ও B পরস্পরের সঙ্গে AB উৎপন্ন করে এবং সঙ্গে তাপশক্তির উদ্ভব হয়। আবার, বিপরীত দিক থেকে বলা যায়, AB-কে যদি বাইরে থেকে তাপ দেওয়া যায় তবে সে সেই তাপ শোষণ করে A ও B-তে বিয়োজিত হবে।

এই বিক্রিয়াটি যখন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (t°C) স্থিতাবস্থায় পৌঁছায় তখন তার উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়া এমন পথে চলবে যাতে তার উষ্ণতা হ্রাস পায়। তা করার উপায়—AB এই বর্ধিত তাপ শোষণ করে A ও B-তে বিয়োজিত হয়ে যাবে। স্বভাবতঃই t°C-এ স্থিতাবস্থায় AB-এর পরিমাণ যা ছিল তার থেকে বর্ধিত উষ্ণতায় পরিমাণ কম হবে। অন্যদিকে A ও B-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে। আর যদি উষ্ণতা t°C-এর চেয়ে কমানো যায় তবে কিছু A, B-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে AB ও তাপ উৎপন্ন করবে এবং উৎপন্ন তাপ উষ্ণতার হ্রাসকে রদ করবে। ফলে AB-এর পরিমাণ t°C উষ্ণতায় যা ছিল তার চেয়ে বেশী হবে। অতএব, বেশী AB উৎপন্ন করতে গেলে উষ্ণতা কম রাখা প্রয়োজন।

বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের স্থিতাবস্থায় যে গাঢ়ত্ব ছিল তার পরিবর্তন করলে কি পরিবর্তন হয় তাও এই নীতির দ্বারাই নির্ধারণ করা যায় :

(i) $NaCl+H_2SO_4 \rightleftharpoons NaHSO_4+HCl$—এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন HCl একটি গ্যাস বলে, বিক্রিয়াটি খোলা পাত্রে ঘটালে, HCl-এর স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বের হ্রাস হয়। লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতি অনুসারে বিক্রিয়া এই ঘাটতি পূরণ করতে চাইবে। অর্থাৎ, সে চাইবে HCl-এর স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্ব বজায় রাখতে। তা করার উপায় হচ্ছে আরও সোডিয়াম ক্লোরাইড

H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে $NaHSO_4$ উৎপন্ন করবে। এই ভাবে সব NaCl বিক্রিয়া করে যাবে।

(ii) আর একটি বিক্রিয়ার কথা আলোচনা করা হচ্ছেঃ পরীক্ষা করে দেখা গেছে জলীয় দ্রবণে CrO_4^{-2} (ক্রোমেট আয়ন) ও $Cr_2O_7^{-2}$ (ডাইক্রোমেট আয়ন)-এর মধ্যে একটি স্থিতাবস্থা বর্তমান থাকে যা নিম্নলিখিত ভাবে প্রকাশ করা যায়ঃ

$$2H^+ + 2CrO_4^{-2} \rightleftharpoons Cr_2O_7^{-2} + H_2O$$

অর্থাৎ জলীয় দ্রবণে হলুদ CrO_4^{-2} ও কমলা $Cr_2O_7^{-2}$ মিশে থাকে। ফলে দ্রবণের বর্ণ হলুদ ও কমলার মিশ্রণ হবে। এই স্থিতাবস্থায় দ্রবণটিতে যদি কিছু অ্যাসিড যোগ করা যায় অর্থাৎ, দ্রবণে H^+-এর গাঢ়ত্ব যদি বৃদ্ধি করা যায় তবে লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতি অনুযায়ী বিক্রিয়া এই বৃদ্ধি রদ করতে চেষ্টা করবে। ফলে বিক্রিয়া এমন পথে চলবে যাতে বাড়তি H^+-এর পরিমাণ হ্রাস পায়। স্বভাবতঃই কিছু ক্রোমেট আয়ন ডাইক্রোমেটে রূপান্তরিত হয়ে স্থিতাবস্থা বজায় রাখার চেষ্টা করবে। ফলে দ্রবণের বর্ণ ক্রমশঃ কমলা হওয়ার দিকে অগ্রসর হবে। এইভাবে যতই অ্যাসিড যোগ করা যাবে $Cr_2O_7^{-2}$ এর গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকবে এবং যথোপযুক্ত H^+ আয়ন যোগ করে (অর্থাৎ অ্যাসিড যোগ করে) সমস্ত CrO_4^{-2}—কে $Cr_2O_7^{-2}$-এ পরিবর্তিত করা যাবে।

আর যদি H^+-এর পরিবর্তে OH^- (অর্থাৎ ক্ষার) যোগ করা যায় তবে H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব কমবে এবং $Cr_2O_7^{-2}$ CrO_4^{-2}-এ রূপান্তরিত হতে থাকবে। এইভাবে সমস্ত ডাইক্রোমেটকে ক্রোমেটে রূপান্তরিত করা যাবে এবং দ্রবণের বর্ণ হলুদ হবে।

লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতির প্রয়োগ (Application of Le Chatelier principle)ঃ (a) **অ্যামোনিয়ার শিল্প পদ্ধতিঃ** নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের সংশ্লেষণের দ্বারা অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করা যায়।

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 2 \times 11000 \text{ Calories}$$

এই বিক্রিয়ায় লক্ষ্যণীয় বিষয়গুলি হল, (a) বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদক, (b) বিক্রিয়কের মোট আয়তনের চেয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তন কম।

স্বাভাবিক উষ্ণতায় বিক্রিয়াটির গতি (অ্যামোনিয়া উৎপাদনের হার) অতি ধীর। এই বিক্রিয়াটিকে যদি বৃহদায়তনে অ্যামোনিয়া প্রস্তুতির ক্ষেত্রে

ব্যবহার করা হয় তবে লা শ্যাট্‌এলিয়ারের নীতি অনুযায়ী বিক্রিয়াটিকে নিম্ন উষ্ণতায় ও উচ্চ চাপে ঘটানো প্রয়োজন। নিম্নলিখিতভাবেও চাপের প্রয়োজনীয়তাকে ব্যাখ্যা করা যায়ঃ

এই বিক্রিয়ায় N_2 ও H_2-এর মোল অনুপাত (Mole ratio) 1 ঃ 3। এখানে বিক্রিয়া আরম্ভ হওয়ার পূর্বে এক মোল নাইট্রোজেন অণু তিন মোল হাইড্রোজেন অণু এবং শূন্য মোল অ্যামোনিয়া থাকে। ধরা যাক, স্থিতাবস্থায় নাইট্রোজেনের a মোল হাইড্রোজেনের $3a$ মোলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে $2a$ মোল অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। অতএব,

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

	N_2	$3H_2$	$2NH_3$
প্রারম্ভে	1 মোল	3 মোল	0 মোল
স্থিতাবস্থায়	$(1-a)$ মোল	$3(1-a)$ মোল	$2a$ মোল

সুতরাং, মোট মোল-সংখ্যা (স্থিতাবস্থায়) $=1-a+3-3a+2a$
$=4-2a$

ধরা যাক, স্থিতাবস্থায় মোট চাপ P।

অতএব, নাইট্রোজেনের অংশ-চাপ (Partial pressure),

$$p_{N_2}=P\,\frac{1-a}{4-2a}\text{ ; অনুরূপে, } p_{H_2}=P\,\frac{3(1-a)}{4-2a} \text{ এবং}$$

$$p_{NH_3}=P\frac{2a}{4-2a} \quad \therefore \quad K_p=\frac{p_{NH_3}^2}{p_{N_2}\times p_{H_2}^3}$$

$$=\frac{4a^2P^2}{(4-2a)^2}\Big/\frac{1-a}{4-2a}\,P\times\frac{27(1-a)^3}{(4-2a)^3}P^3$$

$$=\frac{4a^2(4-2a)^2}{27P^2(1-a)^4}$$

1-এর সাপেক্ষে a অতি ক্ষুদ্র বলে $1-a$-কে 1 এবং $(4-2a)$-কে 4 ধরা চলে।

$$\therefore \quad K_p=\frac{64\,a^2}{27P^2} \text{ বা, } K_pP^2=\frac{64a^2}{27}$$

$$\text{বা, } a=\sqrt{\frac{27}{64}K_pP^2}=K_1P, \left[K_1=\sqrt{\frac{27K_p}{64}}, \text{ ধরি}\right]$$

$\therefore$ a ও P পরস্পরের সমানুপাতিক।

a হচ্ছে স্থিতাবস্থায় অ্যামোনিয়ার গাঢ়ত্ব। a-এর পরিমাণ তখনই বৃদ্ধি পাবে যখন P বৃদ্ধিপাবে। অতএব, উচ্চচাপে বেশী NH_3 তৈরী হবে।

কিন্তু লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতি কম উষ্ণতা প্রয়োগের কথা বললেও বাস্তবে নিম্ন উষ্ণতায় বিক্রিয়ার গতি অতি ধীর। এইজন্য বিক্রিয়াটিকে একটি চরম (Optimum) অবস্থায় ঘটানো হয়। 200 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে প্রায় 500°C উষ্ণতায় অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

(b) নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সংশ্লেষণ পদ্ধতিতে নাইট্রিক অক্সাইডের উৎপাদন ঃ

$$N_2+O_2 \rightleftharpoons 2NO-2\times 21000 \text{ Calories}$$

লক্ষ্যনীয় বিষয় ঃ (a) বিক্রিয়াটি তাপ শোষক (b) বিক্রিয়ার ফলে আয়তন অপরিবর্তিত থাকে। অতএব লা শ্যাট্এলিয়ারে নীতি থেকে সহজেই বলা যায় বিক্রিয়াটি উচ্চ উষ্ণতায় অধিক নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করবে এবং বিক্রিয়ার উপর চাপর হ্রাস-বৃদ্ধির কোনো প্রভাব নেই। বাস্তবে বিক্রিয়াটিকে 3000°C উষ্ণতায় বিদ্যুতের সাহায্যে ঘটানো হয়।

(c) সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প পদ্ধতি ঃ

সালফার ডাইঅক্সাইডকে অক্সিজেন দ্বারা প্রথমে SO_3 এবং এই SO_3-কে জলের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে শিল্পে H_2SO_4 উৎপন্ন করা হয়। বিক্রিয়া ঃ

$$2SO_2+O_2 \rightleftharpoons 2SO_3+45000 \text{ Cals.}$$

বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদক এবং বিক্রিয়ায় আয়তন সংকোচন ঘটে। অতএব, লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতি অনুযায়ী, নিম্ন উষ্ণতায় এবং অধিক চাপে SO_3-এর উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু উষ্ণতা খুব কম থাকলে বিক্রিয়ার গতি অতি ধীর হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে সম্মুখ বিক্রিয়ার গতি দ্রুততর হলেও বিপরীত গতিও সঙ্গে সঙ্গে দ্রুততর হয়। অর্থাৎ, উৎপন্ন SO_3-এর বিয়োজন ঘটে। এইজন্য একটি চরম উষ্ণতায় (450°C Pt-অনুঘটকের উপস্থিতিতে) বিক্রিয়াটি সম্পন্ন করা হয়। চাপ বৃদ্ধি করলেও SO_3-এর উৎপাদন বৃদ্ধি পায়। কিন্তু প্রকৃত পরীক্ষায় দেখা যায়, অতি অল্প পরিমাণ চাপের প্রয়োজন। এইজন্য সাধারণ চাপেই বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

প্রশ্নাবলী

1. ভর-ক্রিয়া সূত্রটি কি ? এটিকে ভর-ক্রিয়া সূত্র বলা হয় কেন ? গাণিতিক সমীকরণের সাহায্যে সূত্রটি প্রকাশ কর।

2. উভমুখী বিক্রিয়া কাকে বলে ? উদাহরণ দাও। সকল রাসায়নিক বিক্রিয়াই কি উভমুখী ? কোনো একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া শুরু হওয়ার পর সম্মুখ বিক্রিয়া এবং বিপরীত বিক্রিয়ার গতি কিভাবে পরিবর্তিত হয় ?

3. স্থিতাবস্থা কাকে বলে ? কখন একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া স্থিতাবস্থায় আছে বলা হবে ? স্থিতাবস্থার ধ্রুবক কাকে বলে ? এটির তাৎপর্য কি নিম্নলিখিত উদাহরণ থেকে তা ব্যাখ্যা কর।

$$H_2+I_2 \rightleftharpoons 2HI$$

4. K_p এবং K_c কি ? তাদের মধ্যে সম্পর্ক কি ? সাধারণতঃ কখন K_p এবং কখন K_c ব্যবহৃত হয় ? নীচের বিক্রিয়াগুলির স্থিতাবস্থার ধ্রুবকের সংকেত লেখ।

$2SO_2+O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$; $C_2H_4+H_2 \rightleftharpoons C_2H_6$; $CO+Cl_2 \rightleftharpoons COCl_2$

5. লা শ্যাট্এলিয়ারের নীতিটি কি ? $Fe_3O_4(s)+4H_2(g) \rightleftharpoons 3Fe(s) +4H_2O(g)$—এই বিক্রিয়াটি একটি আবদ্ধ স্থানে ঘটানো হচ্ছে। বিক্রিয়াটি স্থিতাবস্থায় থাকাকালীন যদি (i) ষ্টীমের পরিমাণ বাড়ানো যায়, (ii) নিয়ত হাইড্রোজেন চালনা করা হয় এবং উৎপন্ন ষ্টীম দূরীভূত করা হয়, (iii) নিয়ত ষ্টীম চালনা করা হয় এবং উৎপন্ন হাইড্রোজেন দূরীভূত করা হয়, তবে কি ঘটবে ?

6. রাসায়নিক শিল্পে লা শ্যাটএলিয়ারের নীতির প্রয়োগ উল্লেখ কর।

7. "রাসায়নিক স্থিতাবস্থা গতিশীল স্থিতাবস্থা"—ব্যাখ্যা কর। বর্ণহীন N_2O_4 বিয়োজিত হয়ে বাদামী বর্ণের NO_2 উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াঃ $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$। বর্ণহীন N_2O_4-কে যতই উত্তপ্ত করা যায় তার বর্ণ বাদামী হতে থাকে কিন্তু ঠাণ্ডা করলে পুণরায় বর্ণহীন হয়। বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী না তাপোৎপাদক। উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি যে চাপে স্থিতাবস্থায় আছে সেই চাপের পরিমাণ বৃদ্ধি করলে পাত্রের গ্যাস বাদামী বর্ণ ধারণ করবে না বর্ণহীন থাকবে ?

8. $4NH_3(g)+5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g)+6H_2O(g)$ +তাপ—এই বিক্রিয়াটি একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্থিতাবস্থায় আছে। এখন যদি (i) উষ্ণতা বাড়ানো যায়, (ii) অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব কমানো যায়, (iii) যে আবদ্ধ পাত্রে বিক্রিয়া ঘটানো হচ্ছে তার আয়তন বাড়ানো হয়, তবে অ্যামোনিয়ার স্থিতাবস্থার গাঢ়ত্বের কি পরিবর্তন হয় ?

9. 1 মোল হাইড্রোজেন এবং 1 মোল আয়োডিন একটি 1 লিটার বাক্সে 490°C উষ্ণতায় রেখে বিক্রিয়া ঘটানো হলো। বিক্রিয়াটি যখন স্থিতাবস্থায় এলো তখন হাইড্রোজেন, আয়োডিন এবং হাইড্রোজেন আয়োডাইডের গাঢ়ত্ব কত ? বিক্রিয়াটির স্থিতাবস্থার ধ্রুবক ঐ উষ্ণতায় 45·9।
(উত্তর :- $C_{H_2}=0{\cdot}228$ মোল/লিটার $=C_{I_2}$; $C_{HI}=1{\cdot}544$ মোল/লিটার)

10. 1 মোল হাইড্রোজেন, 2 মোল আয়োডিন এবং 3 মোল HI একটি 1 লিটার বাক্সে 490°C উষ্ণতায় প্রবেশ করানো হলো। স্থিতাবস্থায় প্রতিটি পদার্থের গাঢ়ত্ব কত ? ঐ উষ্ণতায় বিক্রিয়াটির স্থিতাবস্থার ধ্রুবক 45·9।
(উত্তর : $C_{H_2}=0{\cdot}316$ মোল/লিটার ; $C_{I_2}=1{\cdot}316$ মোল/লিটার ; $C_{HI}=4{\cdot}368$ মোল/লিটার)

দশম অধ্যায়

অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, জল, হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও ওজোন
(Oxygen, Hydrogen, Water, Hydrogen peroxide and Ozone)

10.1 অক্সিজেন (Oxygen ; O_2)

সূচনা ঃ অক্সিজেন যে একটি মৌলিক পদার্থ এবং দহনের সময় তা যে অন্য মৌলের সঙ্গে সংযুক্ত হয় তা সর্বপ্রথম ল্যাভয়সিয়ে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন। সুইডিশ বিজ্ঞানী শীলি (1772) সর্বপ্রথম অক্সিজেন গ্যাস প্রস্তুত করেন।

পৃথিবী ও তার আবহতে অক্সিজেনই যে-কোনো মৌলের চেয়ে বেশী পরিমাণে আছে। মুক্ত অবস্থায় বায়ুতে এবং যুক্ত অবস্থায় প্রধানতঃ জলে, জৈব যৌগে, বিভিন্ন অক্সাইডে এবং অক্সো-অ্যানায়ন হিসেবে বিভিন্ন যৌগে (নাইট্রেট, সালফেট, কার্বনেট ইত্যাদিতে) এটি বর্তমান।

অক্সিজেনের প্রস্তুত প্রণালীসমূহ ঃ (i) মৃদু ধনাত্মক বিদ্যুদ্‌ধর্মী ধাতুর অক্সাইডগুলি **উত্তাপে** বিয়োজিত হয় এবং অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। যেমন,

$$2HgO(450°C) = 2Hg + O_2 \;;\; 2Ag_2O(350°C) = 4Ag + O_2$$

কিছু অক্সি-অ্যাসিড ও লবণের **তাপীয় বিয়োজনে** অক্সিজেন তৈরী হয়। যেমন,

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

$$2H_2SO_4 = 2H_2O + 2SO_2 + O_2$$

$$2KMnO_4 = K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$$

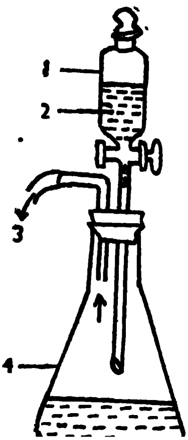
$$2Pb(NO_3)_2 = 2PbO + 4NO_2 + O_2 \;;\; 2KNO_3 = 2KNO_2 + O_2$$

(ii) **স্বাভাবিক উষ্ণতায়** সোডিয়াম পার-অক্সাইডের উপর জলের ক্রিয়ায় অক্সিজেন উৎপন্ন করা যায়।

$$2Na_2O_2 + 2H_2O = O_2 + 4NaOH$$

পরীক্ষা ঃ বিন্দুপাতী ফানেল ও নির্গমনল যুক্ত শঙ্কু-আকৃতির ফ্লাস্কে (Conical flask-এ) কিছু সোডিয়াম পারক্সাইড নেওয়া হয় এবং

বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফোঁটায় ফোঁটায় জল এটির উপর ফেললে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। নির্গমনলের মধ্যে দিয়ে তা বেরিয়ে এসে জলের নিম্নাপসারণ দ্বারা গ্যাস-জারে সংগৃহীত হয় (10.1.1.নং চিত্র)।



1. বিন্দুপাতী ফানেল
2. জল 3. নির্গম-নল
4. শঙ্কু আকৃতির ফ্লাস্ক
10.1.1নং চিত্র

(iii) **পরীক্ষাগারে** ভরের অনুপাতে পাঁচভাগ পটাসিয়াম ক্লোরেট ও একভাগ ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণকে 250°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে অক্সিজেন প্রস্তুত করা হয়।

$$2KClO_3+[MnO_2]=2KCl+3O_2+[MnO_2]$$

কেবল পটাসিয়াম ক্লোরেটকে উত্তপ্ত করলে 370°C উষ্ণতায় তা অক্সিজেনে বিয়োজিত হয়। 380°C উষ্ণতায় এটি আবার পটাসিয়াম পার-ক্লোরেট ও পটাসিয়াম ক্লোরাইডে ভেঙ্গে যায়। ফলে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় না। কিন্তু পার-ক্লোরেটকে 610°C উষ্ণতার উপর উত্তপ্ত করলে তা আবার অক্সিজেনে বিয়োজিত হয়। এই বিক্রিয়া অতি ধীরে সংঘটিত হয়।

$$2KClO_3=2KCl+3O_2 \quad (370°C\text{-তে ঘটে})$$
$$4KClO_3=3KClO_4+KCl \quad (380°C\text{-,, ,,})$$
$$KClO_4=KCl+2O_2 \quad (610°C\text{-,, ,,})$$

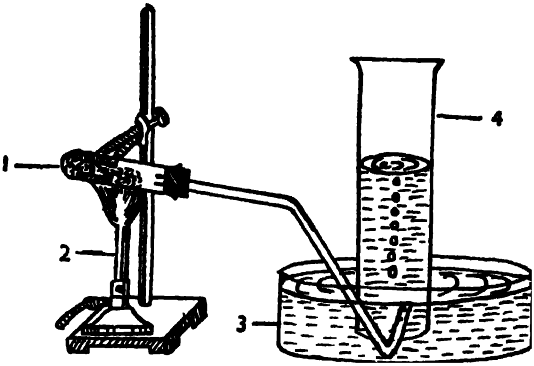
ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড এবং পটাসিয়াম ক্লোরেটের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে 250°C উষ্ণতায় অক্সিজেন উৎপন্ন হয় অথচ পটাসিয়াম পারক্লোরেটে ভেঙ্গে যায় না। ফলে বিক্রিয়ার গতি দ্রুততর হয়। এক্ষেত্রে প্রথমে ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ম্যাঙ্গানিজ হেপ্টক্সাইডে পরিণত হয় এবং পটাসিয়াম ক্লোরেট পরিবর্তিত হয় পটাসিয়াম ক্লোরাইডে। পরে উৎপন্ন ম্যাঙ্গানিজ হেপ্টক্সাইড ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেনে বিয়োজিত হয়।

$$2KClO_3+4MnO_2=2KCl+2Mn_2O_7$$
$$2Mn_2O_7=4MnO_2+3O_2$$

পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড বিক্রিয়ার অংশ গ্রহণ করলেও তা বিক্রিয়ার পরে ভরে এবং সংযুক্তিতে অপরিবর্তিত থাকে। যে-সমস্ত পদার্থ কোনো বিক্রিয়ার অংশ গ্রহণ করে তার গতিকে

দ্রুততর বা মন্দীভূত করে অথচ বিক্রিয়ার শেষে ভর ও সংযুতিতে অপরিবর্তিত থাকে সেগুলিকে ঐ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে **অনুঘটক** (Catalyst) বলে এবং ঘটনাগুলিকে **অনুঘটন** (Catalysis) বলে। উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় MnO_2-কে **পজিটিভ অনুঘটক** বলে।

পরীক্ষা : একটি শক্ত কাচনলে ওজন অনুপাতে পাঁচভাগ পটাসিয়াম ক্লোরেট এবং একভাগ ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণকে নিয়ে 10.1.2 নং



1. শক্ত কাঁচের টিউব 2. বুনসেন বার্নার 3. গ্যাসদ্রোণী 4. গ্যাসজার
10. 1.2নং চিত্র

চিত্রের মতো যন্ত্রপাতি সাজানো হল। এইবারে বুনসেন দীপের সাহায্যে কাচনলটিকে উত্তপ্ত করলে অক্সিজেন নির্গত হয়। প্রথমে কিছুটা বায়ুযুক্ত অক্সিজেনকে বেরিয়ে যেতে দেওয়া হয় এবং তারপরে জলের নিম্নাপসারণ দ্বারা তা গ্যাসদ্রোনী মধ্যস্থিত মধুকোষপীঠের উপর রক্ষিত গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।

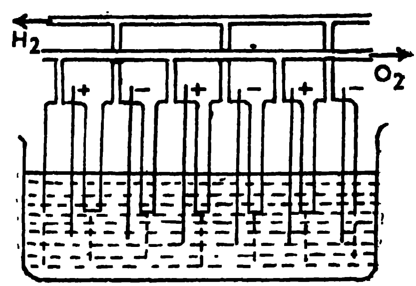
সতর্কতা : (a) কাচনলটিকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করতে হয় এবং লক্ষ্য রাখতে হয় যাতে নির্গম-নলের মুখ বন্ধ হয়ে না যায়। তাহলে বিস্ফোরণ ঘটে, (b) ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড কয়লার গুঁড়া ও অ্যান্টিমণি সালফাইড মুক্ত না হলে বিস্ফোরণ ঘটে, (c) কাচনলের মুখ অল্প নিম্নাভিমুখী না থাকলে এবং (d) গ্যাস সংগ্রহের পরে নির্গমনল জলের নীচে রাখলে কাচনলটিতে জল ঢুকে-যায় এবং তা ফেটে যায়।

অক্সিজেন প্রস্তুতির শিল্প-পদ্ধতি (Industrial method) : জলের

তড়িৎ-বিশ্লেষণ ও তরলীকৃত বায়ুর আংশিক পাতন-দ্বারা বৃহদায়তনে অক্সিজেন প্রস্তুত করা হয়।

জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis of water)ঃ বিশুদ্ধ জল তড়িতের কুপরিবাহী বলে শিল্পে সাধারণতঃ KOH বা, NaOH-এর দ্রবণ ব্যবহৃত হয়। দ্রবণটির তড়িৎ-বিশ্লেষণ ঘটালে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে অক্সিজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। উত্তপ্ত অবস্থায় দ্রবণের মধ্যে তড়িৎ চলাচলের সুবিধার জন্য দ্রবণটিকে 60—65°C উষ্ণতায় রাখা হয়।

সাধারণতঃ ট্যাঙ্ক জাতীয় সেল তড়িৎ-বিশ্লেষণের জন্য ব্যবহৃত হয়। অ্যানোড হিসাবে ব্যবহৃত হয় নিকেলের প্রলেপ দেওয়া লোহার পাত এবং



10. 1. 3নং চিত্র

ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহৃত হয় কোবাল্টের প্রলেপ দেওয়া লোহার পাত (10.1.3. নং চিত্র)। তড়িৎ-দ্বার দুইটির মধ্যে 2·12—2·35 ভোল্ট বিভব-প্রভেদ রাখা হয়। এভাবে উৎপন্ন অক্সিজেন প্রায় 99·5% বিশুদ্ধ এবং হাইড্রোজেন 99·75% বিশুদ্ধ।

বিক্রিয়াঃ (Reaction)ঃ জল এবং NaOH উভয়েই আয়নে বিয়োজিত হয়। $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$; $NaOH = Na^+ + OH^-$

ক্যাথোড বিক্রিয়া (Cathode reaction)ঃ ক্যাথোডে Na^+ এবং H^+ আকৃষ্ট হয়। H^+ আয়ন H_2 গ্যাসরূপে উদ্ভূত হয়ঃ

$$H^+ + e = H \; ; \quad H + H = H_2$$

অ্যানোড বিক্রিয়া (Anode reaction)ঃ OH^- ইলেকট্রন ত্যাগ করে অক্সিজেন উৎপন্ন করেঃ

$$OH^- - e = OH \; ; \quad 4OH = O_2 + 2H_2O$$

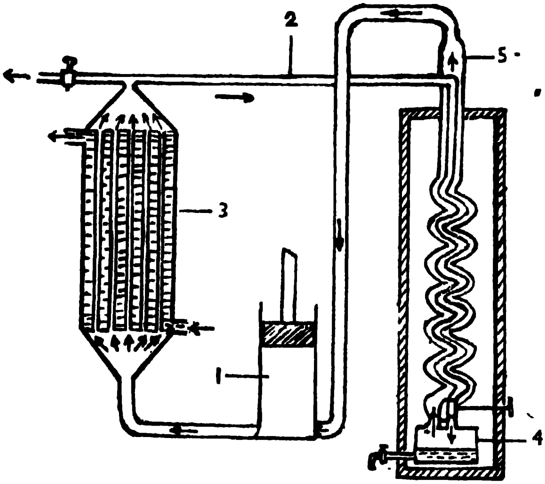
তরলীকৃত বায়ুর আংশিকপাতন (Fractional distillation of liquid air) : এই পদ্ধতিতে প্রথমে বায়ুকে তরল করা হয় এবং পরে এই তরল বায়ুকে আংশিক পাতিত করে অক্সিজেন পৃথক করা হয়। বিজ্ঞানী জুল এবং টমসন (Joule and Thomson, 1852) আবিষ্কার করেন যে, **চাপ-প্রয়োগে সংনমিত (Compressed) কোনো গ্যাসকে তাপরুদ্ধ অবস্থায় যদি হঠাৎ চাপমুক্ত করা যায় তবে গ্যাসটির হঠাৎ আয়তন-প্রসারণ ঘটে এবং ফলে তার উষ্ণতা প্রাথমিক উষ্ণতার থেকে হ্রাস পায়।** তবে গ্যাসটির প্রাথমিক উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার নীচে থাকতে হবে। বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে এই উষ্ণতা বিভিন্ন। এই উষ্ণতাকে বলে **বিলোমক উষ্ণতা** (Inversion temperature)। গ্যাসটি যদি এই উষ্ণতার উপরে থাকে তবে জুল-টমসনের প্রক্রিয়ায় তাকে শীতল করা যাবে না। জুল-টমসনের প্রক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

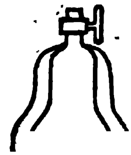
প্রথমে গ্যাসটিকে তার বিলোমক উষ্ণতার নীচে এনে চাপ প্রয়োগে সংনমিত করা হয়। পরে তাপরুদ্ধ অবস্থায় সেই গ্যাসকে হঠাৎ চাপ মুক্ত করা হয়। ফলে গ্যাসটির আয়তন-প্রসারণ ঘটে এবং তা শীতল হয়। এই প্রক্রিয়া বার বার করা হলে গ্যাসটি তরল হয়ে যায়। বায়ুকেও এই প্রক্রিয়ায় তরল করা হয়।

পদ্ধতি (Process) : একটি পাম্পের (1) সাহায্যে প্রথমে বায়ুকে সংনমিত করা হয়। সংনমনের ফলে বায়ুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। এই জন্য যে পাইপের (2) সাহায্যে সংনমিত বায়ু প্রবাহিত হয় তার চারদিকে ঠাণ্ডা জল (3) চালনা করে বায়ুকে ঠাণ্ডা করা হয় যাতে তার উষ্ণতা বিলোমক উষ্ণতার নীচে থাকে। এই বায়ুকে তাপরুদ্ধ অবস্থায় একটি আবদ্ধ পাত্রে (4) হঠাৎ চাপ মুক্ত করা হয়। ফলে তার উষ্ণতা হ্রাস পায়। ঐ পাত্রের সঙ্গে যুক্ত থাকে বড় ব্যাসের আরেকটি নল (5) যা পূর্বোক্ত 2নং পাইপকে বেষ্টন করে থাকে। শীতল বায়ু বড় নলের সাহায্যে উপরে উঠতে থাকে এবং তার সংস্পর্শে ভিতরের 2নং পাইপ শীতল হয়। ঊর্ধ্বোৎক্ষিপ্ত এই বায়ু এসে আবার 2 নং পাইপে প্রবেশ করে। তখন তাকে পুনরায় সংনমিত করে পূর্বের মতো চাপ মুক্ত করা হয়। বার বার এই প্রক্রিয়া ঘটানো হলে 2 নং পাইপটি এত শীতল হয় (−190°C) যে, বায়ু তরল হয়ে 4 নং পাত্রে সঞ্চিত হয় (10.1.4 নং চিত্র)।

তরলীকৃত করার পূর্বে বায়ুকে প্রথমে ধূলা-বালি, কার্বন ডাইঅক্সাইড ও

জলীয় বাষ্প থেকে মুক্ত করা হয়। গ্যাসীয় অবস্থায় বায়ুতে ওজন হিসাবে





1. পাম্প 2. সংনমিত বায়ুর প্রবেশ নল 3. শীতল জলের জ্যাকেট
4. তরল বায়ুর গ্রাহক পাত্র 5. অতরলীভূত বায়ুর বহির্গমনের নল

10. 1. 4নং চিত্র 10. 1. 5নং চিত্র

20% অক্সিজেন থাকে। তরল বায়ুতে অক্সিজেনের পরিমাণ 50—60%।

এই তরল বায়ুকে আংশিক পাতন পদ্ধতির দ্বারা অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনে পৃথক করা হয়। তরল অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেনকে দুই দেওয়াল যুক্ত স্টিল সিলিণ্ডারে রাখা হয় (10.1.5 নং চিত্র)। দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য থাকে।

অক্সিজেনের ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় অক্সিজেন বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন একটি গ্যাস। এর ঘনত্ব 1·429। অক্সিজেনের সঙ্কট উষ্ণতা (Critical temperature; যে উষ্ণতার উর্ধ্বে অক্সিজেনকে তরল করা যাবে না) 154°K। গ্যাসটি বর্ধিত চাপে 90°K উষ্ণতায় ঈষৎ নীলাভ তরলে পরিণত হয় এবং 54°K উষ্ণতায় নীলাভ কঠিনে পরিণত হয়। সাধারণতঃ গ্যাসীয় অক্সিজেন দ্বিপারমাণবিক অণু হিসাবে থাকে। তরল ও কঠিন অবস্থায় কিছু অক্সিজেন O_4 হিসাবে থাকে।

অক্সিজেন জলে অল্প পরিমাণে দ্রবীভূত হয় এবং জলে দ্রবীভূত অক্সিজেনের সাহায্যেই জলচর প্রাণীরা প্রশ্বাস নিতে সক্ষম হয়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (a) অক্সিজেন একটি অত্যন্ত সক্রিয় মৌলিক পদার্থ। নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি ছাড়া সকল মৌলিক পদার্থের সঙ্গেই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে সাধারণ উষ্ণতায় বা উত্তপ্ত অবস্থায় অক্সিজেন যুক্ত হয়।

(b) কোনো কোনো ধাতু এবং অধাতু অক্সিজেনের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে রাসায়নিক সংযোগকালে যুগপৎ তাপ ও আলোক উৎপন্ন করে। এ জাতীয় রাসায়নিক সংযোগকে **দহন** (Combustion) বলে। যে-সকল পদার্থ অক্সিজেনের সঙ্গে সংযোগকালে তাপ ও আলোক উৎপন্ন করে সেগুলিকে **দাহ্য** (combustible) পদার্থ বলে।

উদাহরণ ঃ উত্তপ্ত কার্বন, সালফার এবং ফসফরাস অক্সিজেনে দীপ্ত শিখায় জ্বলে এবং যথাক্রমে কার্বন ডাইঅক্সাইড, সালফার ডাইঅক্সাইড ও ফসফরাস পেণ্টক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$C+O_2=CO_2\ ;\quad S+O_2=SO_2$$

উত্তপ্ত সোডিয়াম, পটাসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম দীপ্ত শিখায় অক্সিজেনের সঙ্গে জ্বলে—সোডিয়াম উৎপন্ন করে হলুদ শিখা, পটাসিয়াম বেগুনী ও ম্যাগনেসিয়াম অত্যন্ত উজ্জ্বল সাদা শিখা উৎপন্ন করে।

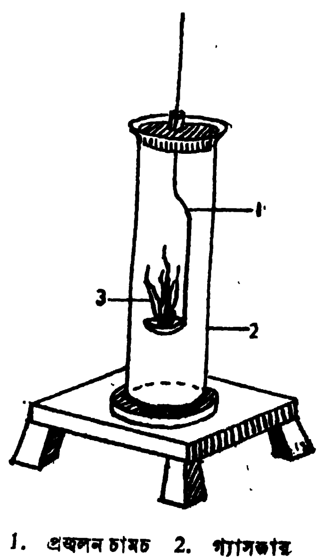
$$2Na+O_2=Na_2O_2\ ;\quad K+O_2=KO_2$$

$$2Mg+O_2=2MgO$$

সাধারণ উষ্ণতায় জলে ভেজা শ্বেত ফসফরাস অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফসফরাস পেণ্টক্সাইড উৎপন্ন করে তবে জ্বলে না।

(c) অক্সিজেন দহনের সহায়ক (Supporter of combustion)।

পরীক্ষা ঃ প্রজ্বলন চামচে (Combustion spoon) এক টুকরা পটাসিয়াম উত্তপ্ত করে অক্সিজেন পূর্ণ গ্যাসজারে প্রবেশ করানোর সঙ্গে সঙ্গে ধাতুর টুকরাটি উজ্জ্বল বেগুনী শিখায় জ্বলে উঠবে। অক্সিজেন ব্যতিত পটাসিয়াম বেগুনী শিখায় জ্বলে না (10.1.6 নং চিত্র)।



1. প্রজ্বলন চামচ 2. গ্যাসজার
3. পটাসিয়াম
10.1.6নং চিত্র

(d) **অক্সাইড :** অক্সিজেন ধাতু ও অধাতুর সঙ্গে যে দ্বিমৌলিক যৌগ উৎপন্ন করে তাদের বলে অক্সাইড। এই অক্সাইডগুলিতে অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা (oxidation number) বিভিন্ন এবং জারণ-সংখ্যার বিভিন্নতার জন্য অক্সাইডগুলি বিভিন্ন ধর্ম প্রকাশ করে।

কতগুলি অক্সাইড আছে যেখানে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা—$\frac{1}{2}$। তাদের বলে সুপার অক্সাইড (superoxide) ; উদাহরণ : MO_2 (M=K, Pb এবং Cs)।

কোনো কোনো অক্সাইডে অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা—I, এগুলিকে পারক্সাইড বলে ; উদাহরণ—BaO_2।

সাধারণতঃ যে-সকল ধাতব ও অধাতব অক্সাইড আমরা দেখি তাতে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা—II।

উদাহরণ : CaO, MgO, CO_2 SO_2, ZnO, H_2O, ইত্যাদি।

(e) অক্সিজেন একটি জারক পদার্থ (Oxidising agent)। উপরিউক্ত সকল অক্সাইডেই মৌলগুলির জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি পেয়েছে। অতএব, অক্সাইড তৈরীর অর্থ মৌলকে জারিত করা। যেমন,

(1) সালফারের, মৌল অবস্থায়, জারণ-সংখ্যা শূন্য (0)। অক্সিজেনের সঙ্গে সংযোগে এটি সালফার ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করলে তার জারণ-সংখ্যা হয় +1V ; কাজেই বলা যায়, সালফার জারিত হয়েছে।

$$S+O_2=SO_2$$

(2) NO—একটি অক্সাইড। অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় এটি বাদামী বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। NO-তে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা ছিল +II। অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যখন নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড (NO_2) উৎপন্ন হয় তখন নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা হয়+1V ; $2NO+O_2=2NO_2$

(3) ক্রোমাস ক্লোরাইড ($CrCl_2$) অ্যাসিড-দ্রবণে অক্সিজেনের দ্বারা জারিত হয়ে ক্রোমিক ক্লোরাইডে ($CrCl_3$) পরিণত হয়।

$$4CrCl_2+O_2+4HCl=4CrCl_3+2H_2O$$

অক্সিজেনের সনাক্তকরণ : (a) কেবল জ্বলন্ত লালাভ পাটকাঠি অক্সিজেনে দীপ্ত শিখায় জ্বলে ওঠে।

(b) বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেনের সংস্পর্শে বাদামী বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়।

(c) ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণের দ্বারা অক্সিজেন শোষিত হয়।

ব্যবহার (Uses) ঃ (i) অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে জ্বালিয়ে দিলে যে-শিখা (Flame) উৎপন্ন হয় তার উষ্ণতা প্রায় 2500°C। এই শিখার নাম অক্সি-হাইড্রোজেন শিখা (Oxy-hydrogen flame)। হাইড্রোজেনের পরিবর্তে অ্যাসিটিলিন ব্যবহার করলে অক্সি-অ্যাসিটিলিন শিখা (Oxy-acetylene flame) উৎপন্ন হয় যার উষ্ণতা প্রায় 3000°C। খুব শক্ত ধাতু গলাবার জন্য এই শিখাগুলি ব্যবহৃত হয়। (ii) ঢালাই লোহা থেকে স্টিল উৎপাদনে অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়। (iii) অক্সিজেনের সাহায্যে হাইড্রোকার্বনকে ওয়াটার গ্যাসে রূপান্তরিত করা যায়। ওয়াটার গ্যাস একটি জ্বালানি। (iv) অ্যামোনিয়া গ্যাস থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড ও আয়রন পাইরাইটস্ থেকে সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করতে অক্সিজেন প্রয়োজন। (v) ইথিলিন অক্সাইড নামক যৌগের উৎপাদনে পেট্রোকেমিক্যাল শিল্পে প্রচুর পরিমাণে অক্সিজেন ব্যবহৃত হয় (vi) শ্বাস-প্রশ্বাসে অক্ষম রোগী, পর্বত আরোহী বা ডুবুরীর প্রয়োজনে অক্সিজেন ব্যবহার করা হয়।

10.2 হাইড্রোজেন (Hydrogen ; H_2)

সূচনা ঃ হাইড্রোজেন সবচেয়ে হাল্কা মৌলিক পদার্থ। অ্যাসিড ও লোহার বিক্রিয়ায় গ্যাসটি প্রথম তৈরী ও সংগ্রহ করেন আইরিশ বিজ্ঞানী রবার্ট বয়েল (Robert Boyle, 1672)।

বিজ্ঞানী ল্যাভয়সিয়ে সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন যে, হাইড্রোজেন একটি মৌলিক পদার্থ এবং অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে তা জল উৎপন্ন করে। এইজন্য এই গ্যাসটির তিনি নাম দেন হাইড্রোজেন বা জলের উৎপাদক।

মহাবিশ্বে (Universe) যে-মৌলিক পদার্থটি সবচেয়ে বেশী পরিমাণে পাওয়া যায় তা হাইড্রোজেন। মহাবিশ্বের বেশীর ভাগ নক্ষত্রই প্রধানতঃ হাইড্রোজেন দ্বারা তৈরী। উদাহরণস্বরূপ, সূর্যের সমস্ত ভরের প্রায় 90% হাইড্রোজেন দ্বারা গঠিত।

ভূত্বকের সমগ্র ভরের প্রায় 0·88% হাইড্রোজেন। যুক্ত অবস্থায় হাইড্রোজেনের প্রধান ভাণ্ডার জল। স্নেহজাতীয় পদার্থ, প্রোটিন, কার্বোহাইড্রেট প্রভৃতিরও অন্যতম উপাদান হাইড্রোজেন।

হাইড্রোজেনের প্রস্তুতি ঃ হাইড্রোজেনের প্রধান উৎস হচ্ছে জল, অ্যাসিড ও ক্ষার। এই তিনটি পদার্থেরই অন্যতম উপাদান হাইড্রোজেন। বিভিন্ন বিক্রিয়ার সাহায্যে এই যুক্ত হাইড্রোজেনকেই মুক্ত করা হয়।

জলের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ার দ্বারা হাইড্রোজেন প্রস্তুতি ঃ সাধারণ উষ্ণতায় ক্ষারীয় ধাতুগুলি (Li, Na, K, Rb, এবং Cs) জলের সঙ্গে তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে ক্ষার এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

$$2M+2H_2O=2MOH+H_2 \,,$$
$$(M=Li,\ Na,\ K,\ Rb \text{ এবং } Cs)$$

বিক্রিয়া এত তীব্রভাবে ঘটে এবং এত তাপোৎপাদক যে, উৎপন্ন হাইড্রোজেন অগ্নিশিখায় জ্বলে ওঠে।

কেবল ক্ষারীয় ধাতুর পরিবর্তে সীসা ও ক্ষারীয় ধাতুর সংকর বা ক্ষারীয় ধাতুর অ্যামালগাম ব্যবহার করলে বিক্রিয়া ধীরে ধীরে সংঘটিত হয়।

ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, স্ট্রন্‌সিয়াম ইত্যাদি ক্ষারকীয় ধাতুও (Alkaline earth metals) সাধারণ উষ্ণতায় জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। কিন্তু বিক্রিয়া অত্যন্ত ধীর গতিতে ঘটে ঃ

$$M+2H_2O=M(OH)_2+H_2 \,;\ (M=Ca,\ Mg,\ Ba,\ Sr)$$

Mg, Al অথবা তাদের সংকর ধাতুগুলি এবং Zn-Cu কাপ্‌ল্‌ (Couple) ফুটন্ত জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে ঃ

$$2Al+6H_2O=2Al\,(OH)_3+3H_2$$

লোহিত তপ্ত অবস্থায় Mg, Zn, Fe, Co, Ni, Cr এবং Mn স্টীমের সঙ্গে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন এবং অক্সাইড তৈরী করে ঃ

$$Zn+H_2O\ (g)=ZnO+H_2$$
$$3Fe+4H_2O\ (g)=Fe_3O_4+4H_2$$

অ্যাসিডের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ার দ্বারা হাইড্রোজেন প্রস্তুতি ঃ বিদ্যুৎ-বিভবসারিতে যে-ধাতু হাইড্রোজেনের উপরে অবস্থিত তা অ্যাসিডের প্রতিস্থাপনীয় হাইড্রোজেন বিমুক্ত করতে পারে। M যদি ধাতুটি হয় এবং তার যোজ্যতা n হয় তবে বিক্রিয়া নিম্নরূপে ঘটে :

$$M+nH^+\rightleftharpoons M^{n+}+nH$$

পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ পরীক্ষাগারে জিঙ্কের দ্বারা লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেনকে প্রতিস্থাপিত করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা হয়।

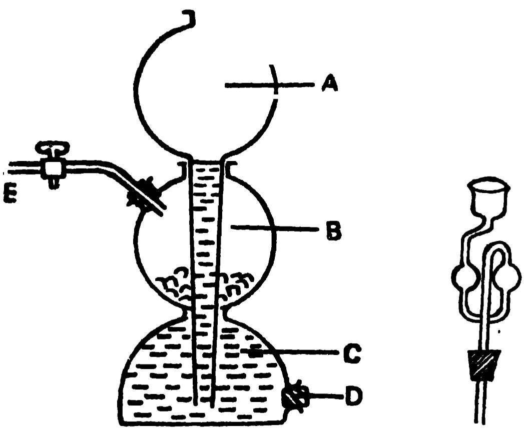
$$Zn+H_2SO_4=ZnSO_4+H_2$$

আয়নিক বিক্রিয়া ঃ

$$Zn-2e\rightleftharpoons Zn^{++}$$
$$2H^++2e\rightleftharpoons H_2$$
$$\overline{Zn+2H^+\rightleftharpoons Zn^{++}+H_2}$$

পরীক্ষাগারে উল্‌ফ-বোতল বা কিপ-যন্ত্র ব্যবহার করে হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা হয়।

কিপ-যন্ত্রে হাইড্রোজেন প্রস্তুতি (Preparation of hydrogen in Kipp's apparatus) ঃ কিপ-যন্ত্র একটি গ্যাস উৎপাদক যন্ত্র। এটি কাঁচের তৈরী দুইটি পূর্ণগোলক (A ও B) ও একটি অর্দ্ধ গোলকের (C) সমন্বয়। যন্ত্রটিকে



10. 2. 1নং চিত্র

অবশ্য দুইটি অংশে বিভক্ত করা যায়। প্রথম অংশটি দীর্ঘনলযুক্ত একটি পূর্ণ-গোলক। দ্বিতীয় অংশটি একটি পূর্ণগোলক ও একটি অর্দ্ধগোলকের সমন্বয়। দ্বিতীয় অংশের উপরে পূর্ণগোলকটি এবং তার নীচে অর্দ্ধগোলকটি একটি লম্বা নলের সাহায্যে সংযুক্ত। প্রথম অংশটি দ্বিতীয় অংশের পূর্ণগোলকের মুখে বায়ু-নিরুদ্ধভাবে আঁটা থাকে এবং নলের শেষ প্রান্ত দ্বিতীয় অংশের অর্দ্ধ গোলকের প্রায় নীচে অবধি পৌঁছায়। যন্ত্রাংশগুলি পরস্পর সাজিয়ে দিলে 10.2.1 নং চিত্রের ন্যায় দেখায়। চিত্রে যে মধ্য গোলকটি আছে তাতে প্যাঁচকলযুক্ত একটি নির্গম-নল (E) লাগানো থাকে এবং এই নির্গম-নলের সাহায্যে উৎপন্ন গ্যাস বেরিয়ে আসে।

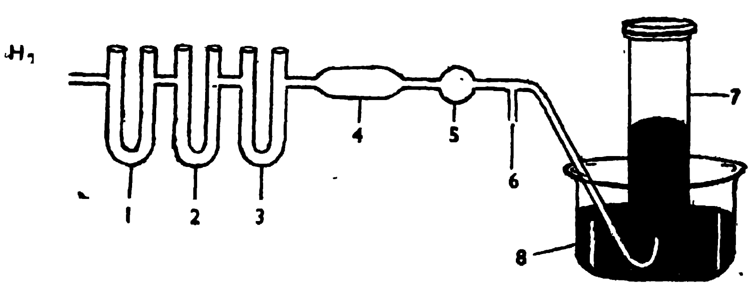
এই যন্ত্রের সাহায্যে গ্যাস প্রস্তুত করার জন্য যে বিকারক প্রয়োজন তার একটি অবশ্যই কঠিন এবং অপরটি তরল হবে। কঠিন বিকারকটি থাকে মধ্য-গোলকে এবং তরল বিকারকটিকে প্রথম গোলকের সাহায্যে ঢালা হয়। এই বিকারকটি এমনভাবে ঢালতে হবে যাতে সর্বনিম্ন অর্দ্ধগোলকটি ভরে গিয়ে

মধ্য গোলককে ছুঁয়ে থাকে এবং দীর্ঘনলটি ও প্রথম গোলকের কিছু অংশ তরলে পূর্ণ থাকে। তরল পদার্থ ঢালার সুবিধার জন্য প্রথম গোলকের মুখে রবারের ছিপির সাহায্যে একটি থিস্‌ল ফ্যানেল আঁটা থাকে।

হাইড্রোজেন প্রস্তুতির জন্য মধ্য গোলকে রাখা হয় জিঙ্কের দানা এবং প্রথম নলের সাহায্যে ঢালা হয় লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড। যে-মুহূর্তে লঘু H_2SO_4-এর স্তর জিঙ্কের সংস্পর্শে আসে বিক্রিয়া শুরু হয় এবং উৎপন্ন গ্যাস মধ্যগোলকের নির্গমনল পথে বেরিয়ে আসে।

গ্যাসের প্রয়োজন না থাকলে নির্গম-নলের প্যাঁচকলটি বন্ধ করে দেওয়া হয়। ফলে উৎপন্ন গ্যাস নির্গত হতে না পেরে মধ্য গোলকে সঞ্চিত হতে থাকে এবং তরল বিকারকটির উপর চাপ দেয়। গ্যাসের চাপের জন্য তরল দীর্ঘনল পথে প্রথম গোলকে উঠে আসে এবং কঠিন বিকারকের সঙ্গে সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। ফলে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। গ্যাস আর উৎপন্ন হয় না। আবার গ্যাসের প্রয়োজন হলে প্যাঁচকলটি খুলে দেওয়া হয়। এতে সঞ্চিত গ্যাস বেরিয়ে যায় এবং গ্যাসের চাপ থাকে না বলে তরল দীর্ঘনল পথে পুনরায় অর্দ্ধগোলকে নেমে আসে। আবার কঠিন পদার্থের সঙ্গে এর সংযোগ হয় এবং বিক্রিয়া শুরু হওয়ার ফলে গ্যাস পাওয়া যায়।

পরিশোধন ঃ এভাবে প্রস্তুত হাইড্রোজেন অবিশুদ্ধ ; এতে মিশ্রিত থাকে সালফিউরেটেড হাইড্রোজেন (H_2S), আরসিন (AsH_3), ফসফিন (PH_3), সালফার ডাইঅক্সাইড (SO_2), কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2), নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইড এবং জলীয় বাষ্প। এই অবিশুদ্ধ হাইড্রোজেনকে বিভিন্ন টিউবে রক্ষিত কতগুলি রাসায়নিক দ্রব্যের মধ্যে দিয়ে চালনা করে বিশুদ্ধ করা



1. লেড নাইট্রেট দ্রবণ 2. সিলভার সালফেট দ্রবণ 3. পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড
4. ফসফরাস পেন্টক্সাইড 5. প্যালাডিয়াম ধাতু 6. পাম্প 7. গ্যাসজার
8. গ্যাসদ্রোণী

10. 2. 2নং চিত্র

হয় (10.2.2নং চিত্র)। উৎপন্ন হাইড্রোজেনকে প্রথমে লেড নাইট্রেট দ্রবণযুক্ত U-টিউবের মধ্যে চালনা করা হয়। ফলে H_2S লেড নাইট্রেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় দ্রবীভূত হয়। $H_2S+Pb(NO_3)_2=PbS+2HNO_3$। দ্বিতীয় U-টিউবে থাকে Ag_2SO_4-এর দ্রবণ যা আরসিন ও ফসফিনকে দূরীভূত করে।

তারপরে হাইড্রোজেনকে চালনা করা হয় ঘন পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইডের দ্রবণ পূর্ণ একটি U-টিউবের মধ্য দিয়ে। KOH-দ্রবণ CO_2, SO_2 ও নাইট্রোজেনের আম্লিক অক্সাইডগুলিকে শোষণ করে।

$$CO_2+2KOH=K_2CO_3+H_2O\ ;\ SO_2+2KOH=K_2SO_3+H_2O$$

জলীয় বাষ্প দূরকরা হয় হাইড্রোজেনকে ফস্‌ফরাস পেণ্টক্সাইডে পূর্ণ টিউবের মধ্যে চালনা করে। $P_2O_5+H_2O=2HPO_3$

কিছু মৌলিক নাইট্রোজেন তবুও থেকে যায়। তারজন্য উপরিউক্ত ভাবে পরিশোধিত হাইড্রোজেনকে প্যালাডিয়াম ধাতুপূর্ণ একটি বায়ুনিষ্কাশন বাল্বের (Exhaust bulb-এর) মধ্যে পাঠানো হয়। প্যালাডিয়াম হাইড্রোজেনকে শুষে নেয়। তখন পাম্পের সাহায্যে নাইট্রোজেন বের করে দেওয়া হয়। এইবার বাল্‌বটিকে উত্তপ্ত করলেই অতি বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন বেরিয়ে আসে এবং তাকে পারদের নিম্নে অপসরণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

ক্ষারের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন প্রস্তুতি: কিছু কিছু ধাতু, যেমন, জিঙ্ক অ্যালুমিনিয়াম, টিন ইত্যাদি তপ্ত এবং গাঢ় (20-30%) পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইড বা সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

$$Zn+2NaOH=Na_2ZnO_2+H_2$$
$$2Al+2NaOH=Na_2AlO_2+H_2$$
$$Sn+2NaOH=Na_2SnO_2+H_2$$

জল এবং স্যালাইন হাইড্রাইড (Saline hydride) যেমন, LiH, NaH, CaH_2, ইত্যাদির মধ্যে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে হাইড্রাইড আয়ন (H^-) জলের দ্বারা জারিত হয়:

$$H^-+H_2O=H_2+OH^-$$
$$LiH+H_2O=LiOH+H_2$$
$$CaH_2+2H_2O=Ca(OH)_2+2H_2$$

হাইড্রোজেন প্রস্তুতির শিল্প-পদ্ধতি (Industrial method):

(i) ওয়াটার গ্যাস পদ্ধতি (Water gas process): প্রায় 1000°C

উষ্ণতায় উত্তপ্ত কোকের উপর স্টীম চালনা করলে উৎপন্ন হয় প্রায় সম আয়তনের কার্বন মনোক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণ। এই মিশ্রণকে বলে ওয়াটার গ্যাস। $C+H_2O=CO+H_2$ (ওয়াটার গ্যাস)

এই মিশ্রণ থেকে কার্বন মনোক্সাইডকে পৃথক করলেই হাইড্রোজেন পাওয়া যাবে। বশ (Bosch) পদ্ধতিতে ওয়াটার গ্যাসকে অতিরিক্ত স্টীমের সঙ্গে মিশিয়ে 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত অনুঘটকের (Fe_2O_3 ও Cr_2O_3-এর মিশ্রণ) উপর চালনা করা হয়। এ অবস্থায় কার্বন মনোক্সাইড স্টীম কর্তৃক কার্বন ডাই-অক্সাইডে জারিত হয়। $CO+H_2O \rightleftharpoons CO_2+H_2$

(ii) **স্টীম-আয়রন পদ্ধতি (Steam iron process)ঃ** লোহিত তপ্ত লোহার উপর স্টীম চালনা করে হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা হয়। লোহার দ্বারা স্টীম হাইড্রোজেনে বিজারিত হয় এবং লোহা নিজে ফেরাসো-ফেরিক অক্সাইডে জারিত হয়। বিক্রিয়াটিকে সাধারণতঃ 600° থেকে 850°C-এ ঘটানো হয়। $3Fe+4H_2O \rightleftharpoons Fe_3O_4+4H_2+$তাপ

(iii) **বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Electrolytic process)ঃ** এই পদ্ধতিতে অতি বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পাওয়া যায়। জলকে যদি বিয়োজিত করা যায় তবে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয় (10.1.3 নং চিত্র)।

$$2H_2O \rightarrow 2H_2+O_2-\text{তাপ}$$

বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী। অর্থাৎ, বাইরে থেকে তাপ প্রদান করলে তবেই বিক্রিয়াটি ঘটে। অতএব, বিদ্যুৎ-শক্তি প্রয়োগে উপরিউক্ত বিক্রিয়া ঘটবে। বাস্তব ক্ষেত্রে, শুধু জলের পরিবর্তে 20% সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড বা পটাসিয়াম হাইড্রক্সাইডের জলীয় দ্রবণ লওয়া হয়। (অক্সিজেনের শিল্প প্রস্তুতি দ্রষ্টব্য)

(iv) **হাইড্রোকার্বন থেকে প্রস্তুতিঃ** হাইড্রোকার্বন, বিশেষতঃ মিথেনকে 900°C উষ্ণতায় নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে স্টীমের দ্বারা আংশিক জারিত করে CO-এ রূপান্তরিত করা যায়। ফলে উৎপন্ন হয় কার্বন মনোক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণ। $CH_4+H_2=CO+3H_2$

এবার বশ্ (Bosch) পদ্ধতিতে এই মিশ্রণ থেকে কার্বন মনোক্সাইডকে দূরীভূত করে হাইড্রোজেন পাওয়া যায়।

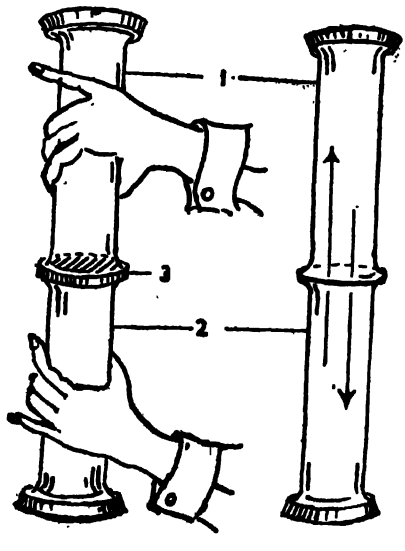
হাইড্রোজেনের ধর্মঃ ভৌত ধর্মঃ সাধারণ উষ্ণতায় হাইড্রোজেন বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন একটি গ্যাস। সকল পদার্থের চেয়ে হাইড্রোজেন হাল্কা। এর সঙ্কট উষ্ণতা (Critical temperature)

33·2°K। এই উষ্ণতার নীচে কমপক্ষে 13 বায়ুমণ্ডলের চাপে হাইড্রোজেন স্বচ্ছ তরলে পরিণত হয় এবং শেষ পর্যন্ত তাকে বর্ণহীন কঠিনে পরিণত করা যায়। তরল হাইড্রোজেনের b. p. 20·4°K এবং কঠিনের গলনাঙ্ক 14·1°K। এই গ্যাস জলে প্রায় অদ্রবীভূত থাকে। হাইড্রোজেন বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা।

পরীক্ষা ঃ হাইড্রোজেন ভর্তি একটি গ্যাসজারের চাকতির উপর একটি খালি জার (অর্থাৎ বায়ুভর্তি) উপুড় করে বসানো হল। এবার মাঝের চাকতিটি সরিয়ে নিয়ে জার দুইটি যুক্ত করা হল। এবার চাকতি দিয়ে উপুড় করা জারটি ঢেকে দেওয়া হল (10.2.3 নং চিত্র)।

এখন একটি জ্বলন্ত পাটকাঠি যদি উপুড় করা জারের ভিতরে প্রবেশ করানো হয় তবে দেখা যাবে জারের ভিতরে গ্যাসটি একটি শব্দ করে জ্বলছে।

কারণ ঃ সোজা গ্যাস জারে হাইড্রোজেন ছিল। এর উপর উল্টানো বায়ুভর্তি গ্যাস জার রাখায় হাইড্রোজেন হাল্‌কা বলে বায়ু সরিয়ে উপরের



বাঁদিকের চিত্রে ঃ
1. বায়ুভর্তি গ্যাসজার 2. হাইড্রোজেন ভর্তি গ্যাসজার 3. চাকতি
ডানদিকের চিত্রে ঃ
1. হাইড্রোজেন ভর্তি গ্যাসজার 2. বায়ুভর্তি গ্যাসজার
10. 2. 3নং চিত্র

জারে ঢোকে। এই হাইড্রোজেনই জলন্ত পাটকাঠির সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ দহনশীলতা (Combustibility) ঃ হাইড্রোজেন

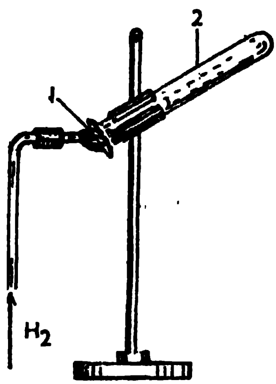
দহনের সহায়ক নয়, নিজে দহনশীল। হাইড্রোজেনপূর্ণ জারে একটি জ্বলন্ত কাঠি প্রবেশ করালে কাঠিটি নিভে যায় কিন্তু হাইড্রোজেন নিজে জ্বলে ওঠে। হাইড্রোজেনের দহনে তা বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং তৈরী হয় জল। $2H_2+O_2=2H_2O$

পরীক্ষা ঃ হাইড্রোজেন উৎপাদনকারী উল্‌ফ বোতলের সঙ্গে যে-নির্গম-নল লাগানো থাকে তার মুখে আগুন ধরিয়ে দিলে তা নীল শিখায় জ্বলতে থাকে। এবার ঐ শিখার উপরে একটি টেস্টটিউব খানিকক্ষণ ধরে রাখলে দেখা যায় টেস্ট টিউবের ভিতরের দেওয়ালে জল জমেছে। এই পরীক্ষা থেকে প্রমাণ হয় বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে দহনের ফলে হাইড্রোজেন জল উৎপন্ন করে (10.2.4 নং চিত্র)।

(ii) বিজারণ ধর্ম ঃ কিছু কিছু ধাতব অক্সাইডকে বিজারিত করে হাইড্রোজেন ধাতুকে মুক্ত করে।

$$CuO+H_2=Cu+H_2O$$

$$PbO+H_2=Pb+H_2O$$



1. হাইড্রোজেনশিখা 2. জলের বিন্দু
10.2.4নং চিত্র

সাধারণভাবে তড়িৎ-রাসায়নিক সারিতে যে-সকল ধাতু আছে তাদের অক্সাইডকে এভাবে বিজারিত করে ধাতু তৈরী করা যায়। তবে কেবল টাংস্টেন (W) ও জার্মেনিয়াম (Ge) ধাতুর অক্সাইড থেকেই এভাবে ধাতু তৈরী করা হয়।

$$WO_3+3H_2=W+3H_2O$$

He,Ne, Ar, K, Xe, ইত্যাদি কতকগুলি মৌলিক গ্যাস ব্যতীত সকল মৌলিক পদার্থের সঙ্গেই হাইড্রোজেন সরাসরিভাবে যুক্ত হয়ে তাকে বিজারিত করে। হাইড্রোজেন ও অপর মৌলের সরাসরি সংযুক্তির ফলে যে-সকল যৌগ উৎপন্ন হয় তাদের বলে **হাইড্রাইড**। হাইড্রাইগুলি বিভিন্ন প্রকারের হয় এবং তাতে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা বিভিন্ন।

হ্যালোজন, কার্বন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, সালফার ইত্যাদি মৌলের সঙ্গে হাইড্রোজেন যে-হাইড্রাইড উৎপন্ন করে তাতে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা $+1$ হয়।

$$X_2+H_2=2HX \quad (X=F, Cl, Br \ \& \ I)$$
$$C+2H_2=CH_4$$
$$N_2+3H_2=2NH_3 \ ; \ S+H_2=H_2S$$

কিছু কিছু ধাতু, যেমন, ক্ষারীয় ধাতু, ক্ষারকীয় ধাতু, ইত্যাদির সঙ্গে যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন লবনাক্ত (Saline) হাইড্রাইড তৈরী করে এবং এসকল যৌগে হাইড্রোজেনের জারণ সংখ্যা—I হয়।

$$2M+H_2=2MH \quad (M=Li, Na, K \text{ ইত্যাদি})$$
$$Ca+H_2=CaH_2$$

আবার কিছু কিছু ধাতুর হাইড্রাইডে হাইড্রোজেনের জারণ-সংখ্যা শূন্য। যথা ঃ ইউরেনিয়াম, প্যালাডিয়াম ইত্যাদি ধাতুর হাইড্রাইড। এসকল ক্ষেত্রে ধাতুটি হাইড্রোজেন গ্যাসকে শোষণ করে রাখে এবং উত্তাপে শোষিত গ্যাসটিকে মুক্ত করে দেয়। একে বলে হাইড্রোজেনের **অন্তর্ধৃতি** (Occlusion)।

জলীয় দ্রবণে কিছু কিছু ধাতব লবণ (যেমন, $AgNO_3$) উচ্চচাপে অনুঘটকের উপস্থিতিতে বা অনুপস্থিতিতে হাইড্রোজেন গ্যাসের দ্বারা বিজারিত হয়।

জায়মান হাইড্রোজেন (Nascent hydrogen) ঃ কোনো মৌলের সদ্যজাত অবস্থাকে বলে জায়মান অবস্থা। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বারা সদ্যজাত হাইড্রোজেনকে বলে জায়মান হাইড্রোজেন। এই জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হওয়ার কিছুক্ষণ পরেই সাধারণ হাইড্রোজেন গ্যাসে রূপান্তরিত হয়। সাধারণ হাইড্রোজেন গ্যাস অপেক্ষা জায়মান হাইড্রোজেন রাসায়নিক দিক থেকে অনেক বেশী সক্রিয়। আরও একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় এই যে, বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেনের সক্রিয়তা সমান নয়। উদাহরণস্বরূপ, Zn/H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন সদ্যজাত হাইড্রোজেনের দ্বারা পটাসিয়াম ক্লোরেট বিজারিত হয় কিন্তু এটি $Na\text{-}Hg/H_2O$-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হাইড্রোজেন কর্তৃক বিজারিত হয় না।

জায়মান হাইড্রোজেনের অধিকতর সক্রিয়তার কারণ সঠিক না জানা গেলেও কেউ কেউ মনে করেন সদ্যজাত অবস্থায় হাইড্রোজেন, পরমাণু (H) হিসাবে থাকে এবং পরে এটি দ্বিপারমাণবিক অণুতে (H_2-তে) রূপান্তরিত হয়। পরমাণু অণু অপেক্ষা বেশী সক্রিয় বলে জায়মান হাইড্রোজেন সাধারণ হাইড্রোজেন অপেক্ষা অধিক সক্রিয়। আবার কেউ কেউ মনে করেন যে, রাসায়নিক বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়কগুলিতে যে-অন্তর্নিহিত রাসায়নিক শক্তি বর্তমান তাই তাপরূপে সবটা বহির্গত না হয়ে কিছুটা উৎপন্ন হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই বাড়তি শক্তির জন্যই জায়মান হাইড্রোজেন বাড়তি সক্রিয়তাবিশিষ্ট হয়।

জায়মান হাইড্রোজেন যে সাধারণ হাইড্রোজেন অপেক্ষা অধিকতর সক্রিয় হয় তার পরীক্ষা ঃ

(i) বেগুনী রং-এর পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণে সাধারণ হাইড্রোজেন চালনা করলে তার সঙ্গে কোনোই বিক্রিয়া হয় না। কিন্তু উক্ত দ্রবণে H_2SO_4 ও Zn মিশিয়ে দিলে দ্রবণ বর্ণহীন হয়ে যায়। তার কারণ Zn ও H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় জায়মান হাইড্রোজেন যা $KMnO_4$-কে বিজারিত করতে সক্ষম হয় এবং এই জন্যই দ্রবণ বর্ণহীন হয়ে যায়।

$$Zn + H_2SO_4 = [2H] + ZnSO_4$$

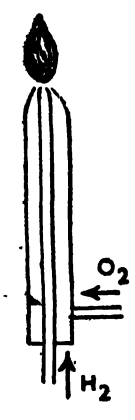
$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 10H = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$

(ii) হলুদ ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণে Zn ও H_2SO_4 যোগ করলে তা বর্ণহীন হয়। জিঙ্ক ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন ফেরিক ক্লোরাইডকে বিজারিত করে। ফলে দ্রবণ বর্ণহীন হয়। সাধারণ হাইড্রোজেন দ্বারা এটা সম্ভব নয়।

$$FeCl_3 + H = FeCl_2 + HCl$$

হাইড্রোজেনের সনাক্তকরণ ঃ (i) হাইড্রোজেন আগুনের সংস্পর্শে নীলাভ শিখায় জ্বলে। ফলে উৎপন্ন হয় যে-তরল পদার্থটি তা জল। (ii) প্যালাডিয়াম ও কিছু কিছু ধাতুর দ্বারা এই গ্যাস শোষিত হয়। আবার, ধাতুটিকে উত্তপ্ত করলে গ্যাসটি নির্গত হয়।

হাইড্রোজেনের ব্যবহার ঃ (i) অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণে উৎপন্ন অক্সি-হাইড্রোজেন শিখা (10. 2. 5 নং চিত্র) 2500°C উষ্ণতা সৃষ্টি করে এবং অতি কঠিন ধাতু গলাতে এই শিখা ব্যবহৃত হয়।



10. 2. 5নং চিত্র

(ii) পেট্রোলিয়ামের অংশবিশেষের সঙ্গে এবং কয়লার সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে কৃত্রিম (Synthetic) পেট্রোল উৎপন্ন করা হয়।

(iii) প্রাণী বা উদ্ভিদজাত তেলের সঙ্গে নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে তৈরী করা হয় বনস্পতি বা ডালডা ধরনের কৃত্রিম স্নেহজাতীয় পদার্থ ঃ

$$\text{তেল} + H_2 \xrightarrow[\text{উত্তাপ}]{\text{অনুঘটক}} \text{ফ্যাট}$$

এই প্রক্রিয়াকে বলে তেলের কঠিনীকরণ (Hardening of oil)।

(iv) তরল হাইড্রোজেনের স্ফুটনাংক হচ্ছে 20·4°K ; অতি নিম্ন উষ্ণতা সৃষ্টির জন্য তরল হাইড্রোজেন ব্যবহৃত হয়।

(v) অত্যন্ত হাল্কা বলে আবহমণ্ডলে পরীক্ষা-নিরীক্ষার জন্য প্রেরিত বেলুনে হাইড্রোজেন ব্যবহৃত হয়।

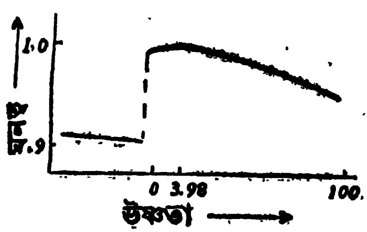
(vi) হাবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া গ্যাস প্রস্তুত করতে হাইড্রোজেন ব্যবহৃত হয়। এছাড়া হাইড্রোজেন ক্লোরাইড ও মিথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করতেও হাইড্রোজেন ব্যবহার করা হয়।

(vii) দুষ্প্রাপ্য (Rare) ধাতুর অক্সাইড থেকে ধাতু নিষ্কাশনের জন্য বিজারক দ্রব্যরূপেও হাইড্রোজেনের ব্যবহার আছে।

10.3 জল (Water ; H_2O)

সূচনা : ভূ-পৃষ্ঠের শতকরা 71 ভাগই জল। সমুদ্র, বৃষ্টি, নদী, সরোবর, হ্রদ, প্রস্রবন, কূপ, ইত্যাদি হচ্ছে প্রাকৃতিক জলের উৎস। এছাড়া পরিমাণের দিক থেকে উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহের প্রধান উপাদানই জল। উদাহরণস্বরূপ, মানুষের ভরের শতকরা 70 ভাগ, আলুর ভরের শতকরা 78 ভাগ এবং আপেলের 85 ভাগই হচ্ছে জল। কিছু কিছু অজৈব ও জৈব যৌগের কেলাসে জল বর্তমান থাকে। ঐ জলকে বলে **কেলাস জল** (Water of crystallisation)।

জলের ধর্ম : ভৌত ধর্ম : জলের কোনো বর্ণ, গন্ধ বা স্বাদ নেই। ঘনস্তরে অবশ্য এর বর্ণ নীলাভ দেখায়। সাধারণ চাপে 100°C উষ্ণতায় এটির স্ফুটন হয় এবং 0°C উষ্ণতায় কঠিনীভবন হয়। কঠিন জলকে বরফ বলে। অন্যান্য তরলের তুলনায় জলের ভৌত ধর্মে কিছু কিছু ব্যতিক্রম লক্ষ্য করা যায়। জলের স্ফুটনাঙ্ক (100°C) তার আণবিক গুরুত্বের তুলনায় অপেক্ষাকৃত বেশী। সাধারণতঃ তরল পদার্থ কঠিন হলে তার আয়তন কমে, জলের ক্ষেত্রে তা বাড়ে। নির্দিষ্ট পরিমাণ জল বরফ হলে তার আয়তন বাড়ে। জলের আরেকটি অদ্ভুত ধর্ম হচ্ছে উষ্ণতার



10. 3. 1নং চিত্র

পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে ঘনত্বের অনিয়মিত পরিবর্তন (10.3.1নং চিত্র)। বরফকে যদি উত্তাপ দেওয়া যায় তবে দেখা যায় উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে

ঘনত্ব কমতে থাকে। তারপর 3·98°C উষ্ণতায় হঠাৎ তা বেড়ে সর্বোচ্চ মানে (Maximum value) পৌঁছায়। এরপর আবার কমতে থাকে। জলের অণুর অদ্ভুত গঠনের জন্যই এরূপ ঘটে। এছাড়া জল একটি উত্তম দ্রাবক।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) জলের উপর তাপের প্রভাব ঃ জল একটি স্থায়ী তাপোৎপাদক (Exothermic) যৌগ। অর্থাৎ, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন এই দুইটি মৌল যুক্ত হয়ে যখন জল উৎপন্ন করে তখন প্রতি মোল-অণু জল উৎপন্ন হওয়ার দরুণ 5800 ক্যালোরী তাপের উদ্ভব হয়। অতএব, যথোপযুক্ত তাপ বাইরে থেকে দিলে তবেই জলের অণু উপাদানগুলীতে বিয়োজিত হবে। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, 2000°C উষ্ণতায় জলের অণু বিয়োজিত হয়। তড়িৎ-বিশ্লেষণে বা শ্বেত-তপ্ত প্লাটিনাম ধাতুর সংস্পর্শেও জল বিয়োজিত হয়। $2H_2O \rightleftharpoons 2H_2+O_2$

(ii) জলের সঙ্গে ধাতুর ক্রিয়া ঃ (অনুচ্ছেদ 10.2-তে দ্রষ্টব্য)।

(iii) জলের সঙ্গে অধাতুর ক্রিয়া ঃ জলের সঙ্গে ফ্লুরিন, ক্লোরিন এবং ব্রোমিন বিক্রিয়া করে। ফ্লুরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোফ্লুরিক অ্যাসিড, আবার কখনও ওজোন উৎপন্ন হয়। সাধারণ উষ্ণতায়ই বিক্রিয়া ঘটে।

$$2H_2O+2F_2=4HF+O_2\ ;\quad 3H_2O+3F_2=6HF+O_3$$

ক্লোরিন ও ব্রোমিন সূর্যালোকের উপস্থিতিতে জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে :

$$2X_2+2H_2O=4HX+O_2 \quad [\,X=Cl,\ Br\,]$$

জলের সঙ্গে ক্লোরিন ও ব্রোমিনের মিশ্রনকে যথাক্রমে ক্লোরিন-জল ও ব্রোমিন-জল বলে। এই দ্রবণ থেকে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন হয় বলে ক্লোরিনজল এবং ব্রোমিন-জলের বিরঞ্জন ধর্ম আছে। (13.4নং অনুচ্ছেদে ক্লোরিনের ধর্ম দ্রষ্টব্য)

লাল-তপ্ত কার্বন জলীয় বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ওয়াটার গ্যাস তৈরী করে। এটি একটি গ্যাসীয় জ্বালানি।

$$C+2H_2O(g)=2H_2+CO$$

জল সিলিকনের সঙ্গে উত্তপ্ত অবস্থায় বিক্রিয়া করে সিলিকা (SiO_2) উৎপন্ন করে। $Si+2H_2O=2H_2+SiO_2$

(iv) ধাতুর অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ জল ক্ষারীয় ধাতু (Na,K,Li, ইত্যাদি) ও ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুর (Ca,Mg, ইত্যাদির) অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ধাতব হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$M_2O+H_2O=2MOH \ [M=Na,K,Li, \text{ইত্যাদি}]$$

$$MO+H_2O=M(OH)_2 \ [M=Ca,Mg, \text{ইত্যাদি}]$$

(v) **অধাতুর অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়াঃ** কার্বন, সালফার, ফসফরাস, নাইট্রোজেন ইত্যাদি অধাতুর অক্সাইডগুলি আম্লিক অক্সাইড। সুতরাং, জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় তারা অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$SO_2+H_2O=H_2SO_3 \ ; \ CO_2+H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4 \ ; \ N_2O_5+H_2O=2HNO_3$$

জলের সনাক্তকরণঃ (i) অনার্দ্র সাদা কপার সালফেট জলের সংস্পর্শে নীলবর্ণ ধারণ করে। (ii) নীলবর্ণের সিলিকা জেল (Silica gel) জলের সংস্পর্শে গোলাপী বর্ণ ধারণ করে।

খরজল ও মৃদুজল (Hard water and soft water): জল ও সাবানের পারস্পরিক ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে জলকে খর ও মৃদু এই দুইভাগে ভাগ করা যায়। সাবান জলে আংশিকভাবে দ্রবীভূত হয়। দ্রবীভূত অবস্থায় এটি ফেনা উৎপন্ন করে। সব জলেই সমান পরিমাণ ফেনা উৎপন্ন হয় না। জলে দ্রবীভূত খনিজ পদার্থের পরিমাণের উপর ফেনার পরিমাণ নির্ভর করে। জলে দ্রবীভূত এইসব খনিজ পদার্থগুলি হল: আয়রন, ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম ধাতুর বাইকার্বনেট, ক্লোরাইড ও সালফেট লবণ। জলে এইসব খনিজ পদার্থ থাকলে ফেনা কম উৎপন্ন হয় এবং এগুলি না থাকলে ফেনা বেশী উৎপন্ন হয়। সুতরাং, যে-জলে প্রধানতঃ Fe, Ca ও Mg এদের কোনোটির বাইকার্বনেট, ক্লোরাইড বা সালফেট লবণ দ্রবীভূত থাকার ফলে সহজে সাবানের সঙ্গে ফেনা উৎপন্ন হয় না তাকে **খর-জল বলে**। আর যে-জলে Fe, Ca বা Mg কোনোটিরই কোনো লবণ দ্রবীভূত থাকে না বলে সহজে সাবানের সঙ্গে ফেনা উৎপন্ন হয় তাকে **মৃদু-জল বলে**।

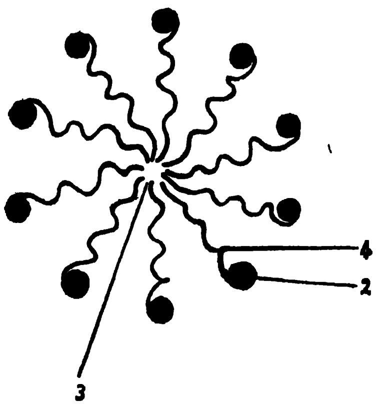
খরজলে সহজে সাবানের ফেনা উৎপন্ন না হওয়ার কারণঃ সাবান হচ্ছে উচ্চ আণবিক গুরুত্বসম্পন্ন কতকগুলি জৈব অ্যাসিডের, যেমন স্টিয়ারিক অ্যাসিড ($C_{17}H_{35}COOH$), পামিটিক অ্যাসিড ($C_{15}H_{31}COOH$), ওলেয়িক অ্যাসিড ($C_{17}H_{33}COOH$), ইত্যাদির সোডিয়াম বা পটাসিয়াম লবণ। এই জৈব অ্যাসিডগুলিতে সর্বদাই উচ্চ আণবিক গুরুত্বসম্পন্ন একটি অ্যালিফ্যাটিক হাইড্রোকার্বন গ্রুপ থাকে। যেমন, স্টিয়ারিক অ্যাসিডে

হাইড্রোকার্বন গ্রুপটি হচ্ছে ($C_{17}H_{35}$)। সাবান জলে দেওয়ার সঙ্গে সঙ্গে জৈব লবণগুলি ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নে বিয়োজিত হয়ে যায়ঃ

$$C_{17}H_{35}COONa = C_{17}H_{35}COO^- + Na^+$$

অ্যানায়ন ক্যাটায়ন

Na^+ আয়ন জলে দ্রবীভূত হয়ে যায়। কিন্তু অ্যানায়নটি সম্পূর্ণভাবে দ্রবীভূত হয় না। $C_{17}H_{35}COO^-$—গ্রুপটির গঠন মুক্ত শৃঙ্খলের (Open chain) ন্যায়। এই শৃঙ্খলের যে-অংশে COO^- গ্রুপটি আছে তা দ্রবীভূত হয়ে জলের সঙ্গে মিশে যায়, কিন্তু অপর অংশে অবস্থিত $C_{17}H_{35}$—গ্রুপটি অদ্রবীভূত থাকে এবং তেলের ন্যায় জলের সঙ্গে অমিশ্রিত থাকে। এভাবে অ্যানায়নগুলীর অদ্রবীভূত অংশ একত্রে মিসেল (Micelle ; 10. 3. 2 নং চিত্র) উৎপন্ন করে। এইভাবেই সৃষ্টি হয় ফেনা। জলে যদি Ca বা Mg বা Fe-এর কোনো লবণ থাকে তবে সাবান জলে দেওয়া মাত্র এই ক্যাটায়নগুলির সঙ্গে সাবানের অ্যানায়ন যুক্ত হয়ে অদ্রবীভূত লবণ তৈরী করবে এবং অধঃক্ষিপ্ত হবে ঃ



1 . 2নং চিত্র

$$2C_{17}H_{35}COO^- + M^{2+} = (C_{17}H_{35}COO)_2M \quad [M = Ca, Mg, Fe]$$

এইজন্য জলে Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+} থাকলে সাবানে ফেনা হওয়া সম্ভব নয়। বেশী সাবান ব্যবহার করে যদি সমস্ত Ca^{2+} বা Mg^{2+} বা Fe^{2+} অধঃক্ষেপ হিসাবে দূর করা যায় তবে যে-জল পাওয়া যা ়ৃ জল এবং তাতে সহজেই সাবানের ফেনা হয়।

জলের খরতার প্রকারভেদ ঃ জলের খরতা দুই প্রকারের হয় ঃ (a) অস্থায়ী খরতা (Temporary hardness) ও (b) স্থায়ী খরতা (Permanent hardness)

(a) অস্থায়ী খরতা ঃ জলে ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম ও আয়রনের বাইকার্বনেট লবণের উপস্থিতির জন্য যে-খরতার সৃষ্টি হয় তা সহজে দূর করা যায় বলে তাকে **অস্থায়ী খরতা বলে।**

(b) **স্থায়ী খরতা ঃ** ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম ও আয়রনের ক্লোরাইড ও সালফেট লবণের উপস্থিতির জন্য জলে যে-ধরনের খরতা দেখা যায় তা সহজে দূর করা যায় না বলে এইরূপ খরতাকে **স্থায়ী খরতা বলে।**

খর জলের অসুবিধা ঃ কাপড় কাচার কাজে, ইঞ্জিনের বয়লারে এবং বিভিন্ন পদার্থের শিল্পোৎপাদনে খরজল ব্যবহারযোগ্য নয়।

(i) খরজলে অযথা সাবান নষ্ট হয়। তাই তা কাপড় ধোলাইয়ের কাজে অযোগ্য। খরজলে দ্রবীভূত আয়রনের জন্য তন্তুতে আয়রনের লবণ অধঃক্ষিপ্ত হয়; ফলে কাপড়ে দাগ পড়ে।

(ii) অস্থায়ী খরজল ফোটালে বাইকার্বনেট লবণগুলি কার্বেনট লবণে পরিণত হয় এবং তা পাত্রের দেওয়ালে কঠিন আস্তরণ (Scale) তৈরী করে। ইঞ্জিনের বয়লার বা অন্য যে-কোনো পাত্রের দেওয়ালের এবং আস্তরণের মধ্যে অসম প্রসারণ ও সংকোচনের জন্য পাত্রটি ফেটে যায় এবং দুর্ঘটনা ঘটার সম্ভাবনা থাকে। খরজলে পাত্রের ক্ষয়ও হয়।

(iii) কাগজ, কৃত্রিম সিল্ক ও রঞ্জন শিল্পে ব্যবহৃত জলে আয়রন থাকলে উৎপন্ন দ্রব্যে দাগ পড়ে।

এইসব ক্ষেত্রে মৃদুজল ব্যবহার করতে হয়। কাজেই, খরজলকে মৃদু করার যথেষ্ট প্রয়োজন আছে।

খরজলের মৃদুকরণ ঃ খরজলকে মৃদু করার অর্থ হল ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম ও আয়রনকে অধঃক্ষিপ্ত করে দূরীভূত করা। বিভিন্নভাবে এই কাজ করা যায় ঃ

(i) **স্ফুটনের দ্বারা জলের অস্থায়ী খরতা** দূর করে তাকে মৃদুজলে পরিণত করা যায়।

$$M(HCO_3)_2 = MCO_3 + CO_2 + H_2O \quad [M = Ca, Mg, Fe]$$

ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম বাইকার্বনেট কার্বনেট যৌগ হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। $FeCO_3$ বায়ু-দ্বারা জারিত হয়ে ফেরিক হাইড্রক্সাইড হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপগুলিকে পরিস্রাবণ পদ্ধতির দ্বারা পৃথক করে মৃদুজল পাওয়া যায়।

$$4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 = 4Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

(ii) **ক্লার্ক পদ্ধতিতে** প্রয়োজনীয় পরিমাণে চুন জলে মিশিয়ে **অস্থায়ী খরজল** থেকে বাইকার্বনেট লবণগুলিকে অদ্রাব্য কার্বনেট লবণে পরিণত করা হয় এবং পরিস্রাবণ পদ্ধতির দ্বারা তা আলাদা করা হয়। (বিক্রিয়াঃ (iv) নং পদ্ধতি দ্রষ্টব্য)

(iii) **স্থায়ী খরজলকে** উপরিউক্ত পদ্ধতিতে মৃদুজলে পরিণত করা যায় না। এক্ষেত্রে **সোডিয়াম কার্বনেট** মিশ্রিত করে জলের স্থায়ী খরতা দূর করে মৃদু জল উৎপন্ন করা হয় (বিক্রিয়া ঃ (iv) নং পদ্ধতি দ্রষ্টব্য)। তবে $MgCO_3$-এর কিছু দ্রাব্যতা থাকায় এইভাবে সম্পূর্ণ খরতা দূরীভূত হয় না।

(iv) **লাইম-সোডা পদ্ধতিতে** প্রয়োজনীয় অনুপাতে চুন ও সোডা মিশিয়ে **অস্থায়ী ও স্থায়ী** উভয়বিধ খরতাই এক সঙ্গে দূর করা যায়। অধঃক্ষিপ্ত পদার্থগুলিকে পরিস্রাবণ পদ্ধতির দ্বারা পৃথক করে মৃদু জল সংগৃহীত হয়। অধঃক্ষেপন তরান্বিত করার জন্য উত্তপ্ত অবস্থায় বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

অস্থায়ী খরতা দূরীকরণ ঃ

$$CaO+H_2O=Ca(OH)_2$$
$$Ca(HCO_3)_2+Ca(OH)_2=2CaCO_3+2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2+Ca(OH)_2=2\ MgCO_3+2H_2O$$

স্থায়ী খরতা দূরীকরণ ঃ

$$MgCl_2+Na_2CO_3+Ca(OH)_2=Mg(OH)_2+CaCO_3+2NaCl$$
$$CaSO_4+Na_2CO_3=CaCO_3+Na_2SO_4$$

(v) **সোডিয়াম পলিফসফেট** পদ্ধতিতে খর জলের সঙ্গে সোডিয়াম পলিফসফেট মিশ্রিত করে মৃদু জল তৈরী করা হয়। এক্ষেত্রে ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম বা আয়রনের আয়নগুলি যৌগ আকারে অধঃক্ষিপ্ত না হয়ে দ্রবণীয় জটিল (Complex) যৌগে পরিণত হয়। এই অবস্থায় উক্ত ধাতু-গুলি আয়নিত হয় না। ফলে সাবানের সঙ্গে এগুলির বিক্রিয়া হয় না এবং স্ফুটনের ফলে অধঃক্ষিপ্তও হয় না। সোডিয়াম পলিফসফেটের মধ্যে সবচেয়ে বেশী ব্যবহৃত হয় সোডিয়াম হেক্সা মেটা ফসফেট [$(NaPO_3)_6$; বাণিজ্যিক নাম ক্যালগন (Calgon)]।

$$Na_2[Na_4(PO_3)_6]+CaSO_4=Na_2[Na_2Ca(PO_3)_6]+Na_2SO_4$$

(vi) জলে দ্রবীভূত Ca^{2+}, Mg^{2+} ইত্যাদি ক্যাটায়নগুলিকে কখনও কখনও ক্ষতিক্ষারক নয় এমন ক্যাটায়নের (যেমন Na, K, ইত্যাদির) সঙ্গে বিনিময় ঘটিয়ে জলকে মৃদু করা হয়। এই পদ্ধতিকে বলে **ক্ষারক বিনিময় পদ্ধতি** (Base exchange process)।

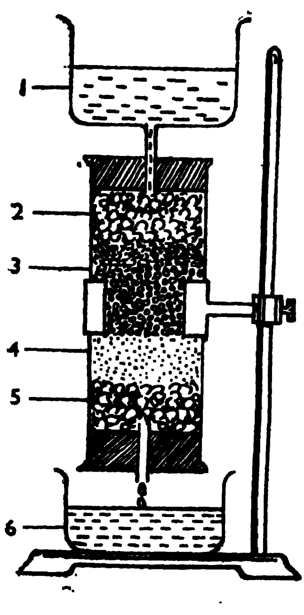
জিওলাইট (Zeolite) নামে প্রকৃতিতে Al ও Si ঘটিত এক প্রকার কঠিন যৌগ পাওয়া যায়। তাদের রাসায়নিক নাম অ্যালুমিনিয়াম সিলি-কেট। এগুলির গঠন (Constitution) ত্রিমাত্রিক (Three dimensional)

এবং তা অত্যন্ত জটিল। এদের মৌল উপাদানের পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে এমনভাবে যুক্ত হয় যে, এরা জালের ন্যায় সছিদ্র হয়। এই ছিদ্রগুলি জলের অণু এবং কাটায়ন দ্বারা পূর্ণ থাকে। এই ক্যাটায়নগুলি অন্য ক্যাটায়নের সঙ্গে বিনিময়ে সক্ষম। অর্থাৎ, অন্য ক্যাটায়ন পূর্ণ দ্রবণের সংস্পর্শে এলে দ্রবণের ক্যাটায়ন জিওলাইটের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং জিওলাইটের ক্যাটায়ন দ্রবণে চলে আসে। এইভাবে বিনিময় ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, যে জিওলাইটে ক্যাটায়ন হিসাবে Na^+ আছে তা Ca^{2+}-দ্রবণের সংস্পর্শে এলে উভয়ের মধ্যে বিনিময় ঘটে ; Ca^{2+} আয়ন জিওলাইটের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং Na^+ আয়ন দ্রবণে চলে আসে। ফলে দ্রবণ Ca^{2+} আয়ন মুক্ত হয়ে মৃদু জলে পরিণত হয়।

$$2Na^+Z + Ca^{2+} \rightleftharpoons 2Na^+ + ZCa^{2+}Z$$

সোডিয়াম জিওলাইট   দ্রবণ   দ্রবণ   ক্যালসিয়াম জিওলাইট

অতএব, এই বিনিময় পদ্ধতিতে খরজলকে মৃদু করা সম্ভব। বর্তমানে প্রাকৃতিক জিওলাইটের পরিবর্তে ব্যবহৃত হয় কৃত্রিম জিওলাইট যাকে **পারমুটিট** (**Permutit**) বলা হয়। সোডিয়াম পারমুটিটের অণুর সংযুতি হচ্ছে $Na_2Al_2Si_5O_{10},4H_2O$।



1. খর জল 2. নুড়ির স্তর 3. পারমুটিটের স্তর 4. বালির স্তর 5. নুড়ির স্তর 6. মৃদু জল
10. 3. 3 নং চিত্র

পদ্ধতি (**Process**) **:** একটি সিলিণ্ডারের মধ্যে সাধারণতঃ উপর থেকে নীচের দিকে কয়েকটি স্তর সাজানো থাকে। প্রথম স্তরে পাথরের নুড়ি, দ্বিতীয় স্তরে থাকে পারমুটিট। পারমুটিটের স্তরের পর যথাক্রমে বালি ও নুড়ির স্তর থাকে। উপর থেকে ঢালা হয় খর জল (10.3.3 নং চিত্র)।

সেই জল সব স্তর ভেদ করে

সিলিণ্ডারের নীচ দিয়ে বেরিয়ে যায়। বালি ও নুড়ির স্তর ভাসমান ধুলো-বালি থেকে জলকে মুক্ত করে। আর পারমুটিটের স্তর তাকে মৃদু করে। দীর্ঘ ব্যবহারের ফলে পারমুটিটের সকল Na^+ আয়ন Ca^{2+}, Mg^{2+} ইত্যাদি আয়নদ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যায়। ফলে পারমুটিটের বিনিময় ক্ষমতা নষ্ট হয়ে যায়। তখন তাকে পুনরায় সক্রিয় করার জন্য খর জল ঢালা বন্ধ করে লবণ-জল (NaCl দ্রবণ) ঢালা হয়। লবণের Na^+ আয়ন পারমুটিটে সঞ্চিত Ca^{2+}, Mg^{2+} আয়নগুলিকে প্রতিস্থাপিত করে পারমুটিটকে পুনরায় ব্যবহার যোগ্য করে তোলে।

জলের খরতা প্রকাশের উপায়ঃ ওজনের হিসাবে প্রতি 1 মিলিয়ন (অর্থাৎ 1,000,000) ভাগ জলে কত ভাগ ক্যালসিয়াম কার্বনেট আছে সেই সংখ্যার দ্বারা অথবা যদি ক্যালসিয়ামের বদলে খরতা সৃষ্টিকারী অন্য ধাতব আয়ন উপস্থিত থাকে তবে তারা যে-পরিমাণে উপস্থিত আছে তা কতভাগ ক্যালসিয়াম কার্বনেটের সমতুল (Equivalent) সেই সংখ্যার দ্বারা জলের খরতা নিরূপণ করা হয়। যদি 1 মিলিয়িন ভাগ কোনো জলের নমুনার খরতা 30g $CaCO_3$-এর সমতুল হয় তবে তার খরতাকে বলা হবে প্রতি মিলিয়নে 30 ভাগ (30 parts per million, সংক্ষেপে 30 ppm)। সাধারণতঃ যে জলের খরতা 0—10 ppm তাকে মৃদু জল, খরতা 10—20 ppm হলে তাকে মাঝারী খরজল এবং 20—30 ppm হলে খরজল বলা হয়। 30ppm এর উপরে খরতা থাকলে সেই জলকে অতি খর জল বলা হয়।

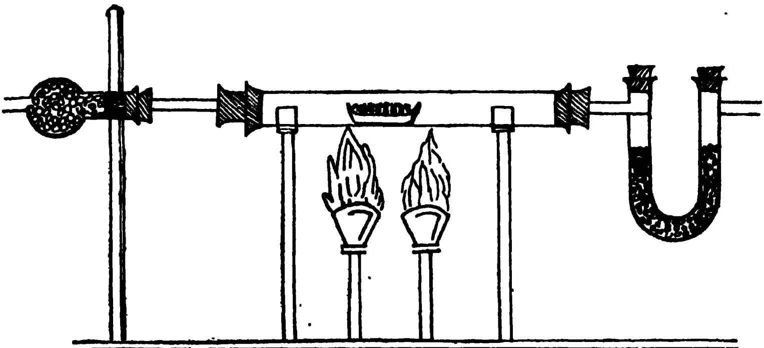
জলের ওজন মাত্রিক সংযুতি (Gravimetric Composition of water) ঃ ফরাসী রসায়নবিদ ডুমা (Duma, 1842) নিম্নলিখিত পদ্ধতির দ্বারা জলের ওজন মাত্রিক সংযুতি নির্ধারণ করেছিলেন।

ডুমা ওজন-করা কিছু উত্তপ্ত বিশুদ্ধ CuO-এর উপর বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করেন। অক্সাইডটি বিজারিত হয়ে ধাতব কপারে রূপান্তরিত হয়। এবার কপার অক্সাইডের ওজন থেকে ধাতব কপারের ওজন বিয়োগ দিলেই অক্সিজেনের ওজন পাওয়া যাবে। এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় জল। তাকে ডুমা ওজন-করা $CaCl_2$-পূর্ণ একটি টিউবে শোষণ করিয়ে বিক্রিয়ার পরে তা ওজন করেন। $CaCl_2$-পূর্ণ টিউবের দুই ওজনের বিয়োগফল থেকে উৎপন্ন জলের ওজন পাওয়া যাবে। পূর্বেই অক্সিজেনের ওজন পাওয়া গেছে। এই দুই ওজনের অন্তরই হবে হাইড্রোজেনের ওজন। এই উপাত্ত

থেকে সহজেই হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের যৌগিক অনুপাত পাওয়া যাবে।

$$CuO + H_2 = Cu + H_2O$$

ডুমা একটি দহন নলের (Combustion tube) এক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করেন বিগলিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড পূর্ণ একটি U-টিউব এবং অপর প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করেন এরূপ অপর একটি টিউব। দহন নলের প্রান্তগুলি অবশ্যই বায়ু-নিরুদ্ধ হবে। তিনি দহন নলের ভিতরে একটি পোর্সিলেন বোটের মধ্যে ওজন-করা কিছু CuO রাখে। ডান দিকের U-টিউবটিও পূর্বে ওজন-



10. 3. 4 নং চিত্র

করা থাকে। দহন নলের বাঁদিক থেকে চালনা করা হয় শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন। বার্নারের সাহায্যে দহন নলটিকে তীব্র ভাবে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন H_2O U-টিউবের $CaCl_2$-দ্বারা শোষিত হয়। বিক্রিয়া শেষ হয়ে গেলে সব কিছু ঠাণ্ডা হলে প্রথমে U-টিউবটির এবং তার পরে পোর্সিলেন বোটটির ওজন লওয়া হয় (10.3.4নং চিত্র)।

গণনা ঃ ধরা যাক,

বিক্রিয়ার পূর্বে, CuO + বোটের ওজন $= W_1 g$

,, পরে, CuO + বোটের ওজন $= W_2 g$

∴ অক্সিজেনের ওজন $= (W_1 - W_2) g$

বিক্রিয়ার পূর্বে, $CaCl_2$-সহ U টিউবের ওজন $= W_3 g$

,, পরে, ,, ,, U- ,, ,, $= W_4 g$

∴ উৎপন্ন জলের ওজন $= (W_4 - W_3) g$

∴ হাইড্রোজেনের ওজন $= [(W_4 - W_3) - (W_1 - W_2)] g$

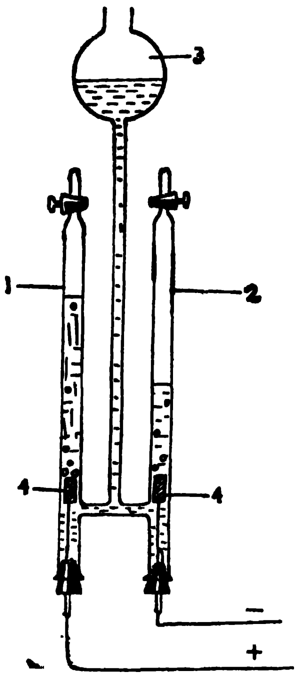
$$\therefore \frac{\text{অক্সিজেনের ওজন}}{\text{হাইড্রোজেনের ওজন}} = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_4 - W_3) - (W_1 - W_2)}$$

প্রকৃত পরীক্ষায় দেখা যায় যে, এই অনুপাত 7·95 : 1।

সুতরাং জলে ওজন হিসাবে 88·83% অক্সিজেন এবং 11·17% হাইড্রোজেন আছে।

জলের অণুর সংযুতি : অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 15·999 ও 1·008 হলে পূর্বোক্ত পরীক্ষা থেকে লেখা যায় :

$$\frac{\text{হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা}}{\text{অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা}} = \frac{\frac{1\cdot00}{1\cdot008}}{\frac{7\cdot95}{15\cdot999}} = \frac{2}{1}$$



1. অক্সিজেন 2. হাইড্রোজেন
3. বাল্বযুক্ত টিউব 4. প্লাটিনাম পাত
10. 3. 5নং চিত্র

∴ জলের অণুতে হাইড্রোজেনের ও অক্সিজেনের পরমাণুর অনুপাত=2 : 1

অতএব, জলের অণুর সংযুতি H_2O।

জলের আয়তনমাত্রিক সংযুতি (Volumetric composition of water) :

বিশ্লেষণিক পদ্ধতি (Analytical method) : এই পদ্ধতিতে জলে বিদ্যুৎ-প্রবাহ চালনা করে জলকে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনে বিয়োজিত করা হয় এবং উৎপন্ন গ্যাস দুইটির আয়তন মাপা হয়। জল বিদ্যুতের কুপরিবাহী বলে বিশুদ্ধ জলের পরিবর্তে H_2SO_4-এর লঘু দ্রবণকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (Electrolyte) রূপে ব্যবহার করা হয়। জলীয় দ্রবণে H_2SO_4 এইভাবে আয়নে বিয়োজিত হয় :

$$H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4^{2-}$$

ক্যাথোড বিক্রিয়া :

$$2H^+ + 2e = \uparrow H_2$$

অ্যানোড বিক্রিয়া :

$$SO_4^{2-} - 2e = SO_4$$

$$SO_4 + H_2O = 2H^+ + SO_4^{2-} + O \;; \quad O + O = \uparrow O_2$$

অতএব, ক্যাথোডে এবং অ্যানোডে যথাক্রমে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন বিমুক্ত হয়।

এই পরীক্ষা করার জন্য নিম্নরূপে যন্ত্রসজ্জা করা হয়। যন্ত্রটি (10.3.5 নং চিত্র) একটি H-আকৃতির টিউব। টিউবের দুই বাহুর সংযোগ স্থলে বাল্বযুক্ত আরেকটি টিউব আছে। H-টিউবের বাহুদ্বয় এবং মাঝখানের টিউব লঘু H_2SO_4-এর দ্রবণে যথাক্রমে পূর্ণ ও আংশিক পূর্ণ থাকে।

H-টিউবের দুই বাহুতে প্রবিষ্ট হয় দুইটি প্লাটিনাম পাত যা তড়িৎ-দ্বার-রূপে কাজ করে। একটি পাত ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার অপরটি ঋণাত্মক। তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার আছে যে-বাহুতে তাতে সঞ্চিত হয় অক্সিজেন এবং অপর বাহুতে সঞ্চিত হয় হাইড্রোজেন। বাহুদুইটি অংশাঙ্কিত থাকে। অতএব অংশাঙ্কন থেকে সহজেই সঞ্চিত গ্যাসদ্বয়ের আয়তন জানা যায়। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে যে-মুহূর্তে গ্যাস সঞ্চিত হতে আরম্ভ করে সে-মুহূর্তে দুইবাহু থেকে H_2SO_4-এর দ্রবণ নেমে আসে এবং মাঝখানের টিউবের বাল্বে জমা হয়। পরীক্ষায় দেখা যায়, জলে হাইড্রোজন ও অক্সিজেনের আয়তনের অনুপাত 2 : 1।

জলের অণুর সংযুতি : (তৃতীয় অধ্যায়ে 3.6 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

10.4 হাইড্রোজেন পারক্সাইড (Hydrogen peroxide, H_2O_2)

সূচনা : বিজ্ঞানী থেনার্ড (Thenard, 1818) লঘু অ্যাসিড ও বেরিয়াম পারক্সাইডের বিক্রিয়ার দ্বারা সর্বপ্রথম এই যৌগটি তৈরী করেন।

প্রকৃতিতে অতি অল্প পরিমাণে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের অস্তিত্ব আছে। বায়ুমণ্ডলের প্রতিলিটারে প্রায় 4×10^{-10} গ্রাম হাইড্রোজন পারক্সাইড বর্তমান।

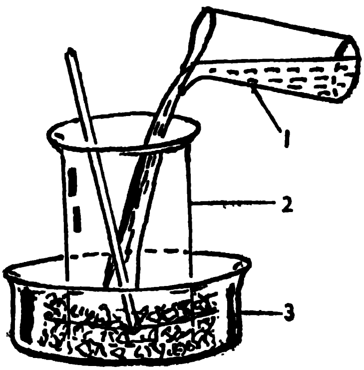
প্রস্তুতি : (i) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি : ধাতব পারক্সাইডগুলিকে লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটানো হলে তারা H_2O_2 উৎপন্ন করে। এখানে বেরিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়া ঘটিয়ে H_2O_2 উৎপন্ন করা হয়। $BaO_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 + H_2O_2$

H_2SO_4-এর পরিবর্তে ফসফরিক অ্যাসিডও ব্যবহৃত হয়।

$$3BaO_2 + 2H_3PO_4 = Ba_3(PO_4)_2 + 3H_2O_2$$

পরীক্ষা : একটি বিকারে কিছু সোদক (Hydrated) বেরিয়াম পারক্সাইড (BaO_2, $8H_2O$) নিয়ে তাতে অল্প জল দিয়ে একটি পেস্ট

(Paste) প্রস্তুত করা হয়। এবার বিকারটিকে বরফকুচির মধ্যে বসানো হয়। শীতলীকৃত ঐ পেইয়ে লঘু ও ঠাণ্ডা H_2SO_4 ধীরে ধীরে যোগ করা হয় এবং একটি কাঁচের দণ্ড দিয়ে আলোড়িত করা হয় (10.4.1 নং চিত্র)।



,-এর দ্রবণ 2. BaO_2-এর পেইয়ের বিকার 3. হিমমিশ্রণ
10. 4. 1 নং চিত্র

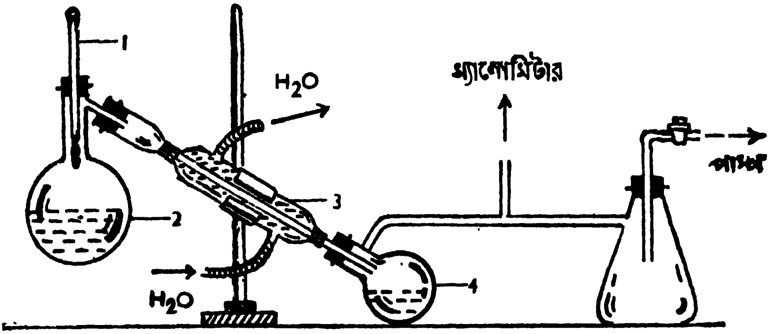
হাইড্রোজেন পারক্সাইডের পৃথকীকরণ : এভাবে উৎপন্ন H_2O_2 জলীয় দ্রবণ হিসাবে বর্তমান থাকে এবং ঐ দ্রবণে থাকে অদ্রাব্য বেরিয়াম সালফেট এবং H_2SO_4। প্রথমে পরিস্রাবণ দ্বারা অদ্রাব্য বেরিয়াম সালফেটকে দ্রবণ থেকে পৃথক করা হয়।

এইবার দ্রবণে যোগ করা হয় ব্যারাইটা জল বা বেরিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ। বেরিয়াম হাইড্রক্সাইড ক্ষারক বলে দ্রবণে উপস্থিত অ্যাসিড প্রশমিত হয়ে যায়। কিন্তু অদ্রাব্য $BaSO_4$ উৎপন্ন হয়। এখন পরিস্রাবণ করলে H_2O_2-এর স্বচ্ছ দ্রবণ পাওয়া যায়।

হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের গাঢ়ীকরণ (Concentration of hydrogen peroxide solution) : সাধারণভাবে একটি বড় ডিসে H_2O_2-এর দ্রবণ নিয়ে জলগাহে 95°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। ফলে অধিকতর উদ্বায়ী বলে জল (জলের স্ফুটনাংক 100°C এবং H_2O_2-এর 151°C) বাষ্পীভূত হতে থাকে। এ প্রক্রিয়ায় প্রায় 60% গাঢ় হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন করা যায়। এই উপায়ে এর বেশী গাঢ় করার চেষ্টা করলে H_2O_2 তাপবিয়োজিত হয়ে যায়। সুতরাং অধিকতর গাঢ় বিশুদ্ধ H_2O_2 তৈরী করতে হলে দ্রবণটিকে নিম্ন চাপে পাতন করতে হয়।

নিম্নচাপ-পাতন : প্রায় 65 mm চাপে 35°-48°C উষ্ণতায় প্রথমে জল পাতিত হয় পরে 81°-85°C উষ্ণতায় H_2O_2 পাতিত হয়। তাই প্রথমে পাতিত হয় জল। এইবার দ্বিতীয় গ্রাহক পাত্র ব্যবহৃত হয়। এইভাবে উৎপন্ন হয় প্রায় 90·5% গাঢ় হাইড্রোজেন পারক্সাইড। এই H_2O_2-কে যদি পুনরায় 84°-85°C-এ নিম্নচাপে পাতন করা হয় তবে প্রায় 98%

হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়। যন্ত্রসজ্জা চিত্রানুরূপ (10.4.2 নং চিত্র)।



1. থার্মোমিটার 2. গোলতল ফ্লাস্ক 3. লিবগ শীতক. 4. গ্রাহক পাত্র
10. 4. 2 নং চিত্র

হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুতির অন্যান্য পদ্ধতি ঃ (i) মার্কের পদ্ধতি (Merck's process) ঃ এই পদ্ধতিতে বরফে শীতলীকৃত 20% সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণের মধ্যে সোডিয়াম পারক্সাইড যোগ করা হয়। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় হাইড্রোজেন পারক্সাইড।

$$Na_2O_2+H_2SO_4=H_2O_2+Na_2SO_4$$

বিক্রিয়া শেষে দ্রবণটিকে—2°C-এ শীতল করলে সোডিয়াম সালফেট, গ্লবার লবণ (Na_2SO_4, $10H_2O$)-রূপে, কেলাসিত হয়ে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়ে যায়। এবার পরিস্রাবণে H_2O_2-এর যে-জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায় তা 30% H_2O_2-এর দ্রবণ। এটিকে বলে **মার্কের পারহাইড্রোল** (Merck's perhydrol)।

(ii) **শিল্প পদ্ধতি ঃ বিদ্যুৎ-পদ্ধতি ঃ** বরফে শীতলীকৃত 50% সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্রবণকে উচ্চ ভোল্টের বিদ্যুদ্‌যোগে এবং উচ্চ প্রবাহ-মাত্রায় বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ করলে পার-ডাইসালফিউরিক অ্যাসিড ($H_2S_2O_8$) নামে একটি যৌগ উৎপন্ন হয়। বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণে প্লাটিনাম ধাতু অ্যানোড-রূপে ব্যবহৃত হয়। $H_2S_2O_8$-কে এখন লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষিত করলে H_2O_2 উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন H_2O_2-এর

জলীয় দ্রবণকে 50 mm চাপে নিম্নচাপ-পাতন করলে 30% হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়।

$$HO-SO_2-OH \rightleftharpoons H^+ + (O-SO_2-OH)^-$$

ক্যাথোড বিক্রিয়া ঃ ক্যাথোডে H^+ আয়ন আসে এবং ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে H-পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়। এবার দুইটি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে H_2-এর অণু উৎপন্ন করে। অতএব, ক্যাথোডে বিমুক্ত হয় হাইড্রোজেন গ্যাস ঃ

$$H^+ + e = H \; ; \; H + H = H_2 \uparrow$$

অ্যানোড বিক্রিয়া ঃ অ্যানোডে HSO_4^- আয়ন আসে এবং দুইটি HSO_4^- আয়ন দুইটি ইলেক্ট্রন পরিত্যাগ করে এবং পরস্পর যুক্ত হয়ে পার-ডাই-সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে ঃ

$$\begin{matrix} [O-SO_2-OH]^- \\ \\ [O-SO_2-OH]^- \end{matrix} \;=\; \begin{matrix} O-SO_2-OH \\ | \\ O-SO_2-OH \end{matrix} + 2e$$

উৎপন্ন পার-ডাই-সালফিউরিক অ্যাসিডের আর্দ্রবিশ্লেষণ ঃ

$$HO-O+HO-SO_2-O-O-SO_2-OH+H-OH$$
$$\downarrow$$
$$HO-SO_2-OH+H_2O_2+HO-SO_2-OH$$

ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইড স্বচ্ছ, ঈষৎ নীলাভ সিরাপের ন্যায় ঘন তরল। বিশুদ্ধ H_2O_2-এর নাইট্রিক অ্যাসিডের ন্যায় গন্ধ আছে। এটি জলে ও ইথারে দ্রবণীয়। 760 mm চাপে এর স্ফুটনাংক (b. p.) 151°C। 68 mm চাপে হাইড্রোজেন পারক্সাইড 84°C উষ্ণতায় ফোটে।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) যৌগটি অস্থায়ী। সাধারণ উষ্ণতায় জল ও অক্সিজেনে বিয়োজিত হয়ে যায়। উত্তাপে এই বিয়োজন দ্রুত ঘটে। 144°C উষ্ণতায় বিস্ফোরণ সহযোগে এই বিয়োজন ঘটে। বিক্রিয়াটি তাপ-উদ্‌গারী ঃ

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2 + \text{তাপ}$$

(ii) বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইড অম্লধর্মী। তাই এটি ধাতব বা ধাতু-কল্প মূলকের পারক্সাইড উৎপন্ন করে। যেমন, অ্যামোনিয়াম হাইড্রোজেন পারক্সাইড [NH_4HO_2], অ্যামোনিয়াম পারক্সাইড [$(NH_4)_2O_2$]। ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় এটি ক্ষারক ধাতুর পারক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$Ba(OH)_2 + H_2O_2 = BaO_2 + 2H_2O$$

(iii) **জারণ ও বিজারণ ধর্ম ঃ** হাইড্রোজেন পারক্সাইড অ্যাসিড ও ক্ষার উভয় দ্রবণে জারণ ও বিজারণ দুই ধর্মই প্রকাশ করে। কারণ এই যৌগে অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা (oxidation number)—I এবং ক্ষেত্র বিশেষে এটি শূন্য বা—II হতে পারে। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের যখন বিজারণ হবে তখন অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা হবে-II এবং জারণ হলে জারণ-সংখ্যা শূন্য।

অ্যাসিড দ্রবণে জারণ ধর্ম ঃ এই অবস্থায় সকল ক্ষেত্রেই হাইড্রোজেন পারক্সাইড নিজে বিজারিত হয়ে জল উৎপন্ন করে।

$$H_2O_2+2H^++2e=2H_2O$$

উদাহরণ ঃ (a) অ্যাসিডযুক্ত ফেরাস সালফেটকে হাইড্রোজেন পারক্সাইড জারিত করে ফেরিক সালফেটে রূপান্তরিত করে। এক্ষেত্রে Fe^{++} আয়ন Fe^{+++}-এ রূপান্তরিত হয়।

$$2Fe^{++}+H_2O_2+2H^+=2Fe^{+++}+2H_2O$$

(b) ফেরোসায়ানাইডের অ্যাসিড দ্রবণকে জারিত করে H_2O_2 ফেরিসায়ানাইডে রূপান্তরিত করে।

$$2K_4[Fe(CN)_6]+H_2O_2+2H^+=2K_3[Fe(CN)_6]+2H_2O$$

(c) অম্লযুক্ত KI-দ্রবণ থেকে H_2O_2 আয়োডিন বিমুক্ত করে।

$$2KI+H_2O_2+2HCl=2KCl+I_2+2H_2O$$

ক্ষার দ্রবণে জারণ ধর্ম ঃ ক্ষার দ্রবণে H_2O_2 নিজে জলে বিজারিত হয়।

$$H_2O_2+2OH^-+2e=2H_2O+2O^-$$

উদাহরণ ঃ ক্ষারযুক্ত Mn^{++}-দ্রবণে H_2O_2 যোগ করলে Mn^{+IV} উৎপন্ন হয়। Cr^{+++}—ও ক্রোমেটে জারিত হয়।

$$Mn^{++}+H_2O_2+2OH^-=MnO_2+2H_2O$$

$$2Cr(OH)_3+4NaOH+3H_2O_2=2Na_2CrO_4+8H_2O$$

অ্যাসিড দ্রবণে বিজারণ ধর্ম ঃ এ ক্ষেত্রে H_2O_2 নিজে জারিত হয়ে অক্সিজেনে রূপান্তরিত হয়।

$$H_2O_2=2H^++O_2+2e$$

উদাহরণ ঃ পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের অ্যাসিড যুক্ত দ্রবণকে H_2O_2 বর্ণহীন করে। পারম্যাঙ্গানেটে Mn-এর জারণ-সংখ্যা +VII ; বিজারিত হয়ে তা হয় +II। এই জন্য দ্রবণ বর্ণহীন হয়।

$$2KMnO_4+3H_2SO_4+5H_2O_2=K_2SO_4+2MnSO_4+8H_2O+5O_2$$

লেড ডাইঅক্সাইডকে H_2O_2, Pb(II)-তে বিজারিত করে।

$$PbO_2+2HNO_3+H_2O_2=Pb(NO_3)_2+2H_2O+O_2$$

ক্ষার দ্রবণে বিজারণ ধর্ম : $H_2O_2+2OH^-=2H_2O+O_2+2e$। ক্ষারযুক্ত পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণে H_2O_2 যোগ করলে তা ফেরোসায়ানাইডে বিজারিত হয়।

$$2K_3Fe(CN)_6+2KOH+H_2O=2K_4Fe(CN)_6+2H_2O+O_2$$

H_2O_2-এর আরও বিক্রিয়া নিয়ে দেওয়া হল।

$$PbS+4H_2O_2=PbSO_4+4H_2O\;;\;Cl_2+H_2O_2=2HCl+O_2$$

$$NaNO_2+H_2O_2=NaNO_3+H_2O\;;\;O_3+H_2O_2=H_2O+2O_2$$

$$Ag_2O+H_2O_2=2Ag+H_2O+O_2\;;NaOCl+H_2O_2=NaCl+H_2O+O_2$$

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সনাক্তকরণ : (i) KI-দ্রবণ থেকে H_2O_2 আয়োডিন বিযুক্ত করে। $FeSO_4$-এর উপস্থিতিতে বিক্রিয়া দ্রুততর হয়। (ii) H_2SO_4-যুক্ত পটাসিয়াম ক্রোমেট দ্রবণে H_2O_2 ও ইথার যোগ করে ঝাঁকিয়ে কিছুক্ষণ রেখে দিলে দেখা যায় যে, উপরের ইথারের স্তর গাঢ় নীলবর্ণ ধারণ করেছে। এর কারণ H_2O_2-এর সঙ্গে ক্রোমেটের (CrO_4^{--}) বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় CrO_5 যা ইথার দ্রবণে গাঢ় নীলবর্ণ উৎপন্ন করে। (iii) টাইটেনিয়াম ও মলিবডেনাম ধাতুর লবণ হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সংস্পর্শে যথাক্রমে বাদামী ও গাঢ় লালবর্ণ ধারণ করে।

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ব্যবহার : (i) একটি জারক দ্রব্যরূপে এটি গবেষণাগারে ব্যবহৃত হয়। সাধারণতঃ ফেরাস সালফেটযুক্ত হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণ ফেনটনের বিকারক (Fenton's reagent) রূপে জারণ ক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। (ii) জারণ ধর্মের জন্য এটি বিরঞ্জক দ্রব্য রূপেও ব্যবহৃত হয়। উল, সিল্ক, পালক, হস্তীদন্ত, প্রভৃতি মূল্যবান জিনিস ক্লোরিন দ্বারা ধৌত করা ক্ষতিকারক। সেক্ষেত্রে H_2O_2 ব্যবহৃত হয়। যে সকল তৈলচিত্রে সাদা রঙ হিসাবে লেড সালফেট ব্যবহার করা হয় দীর্ঘদিন ধরে বায়ুমণ্ডলের সালফারের বিক্রিয়ায় লেড সালফেট কালো লেড সালফাইডে রূপান্তরিত হয়। ফলে চিত্র কালো বর্ণ ধারণ করে। সেক্ষেত্রে H_2O_2 দ্বারা তৈল চিত্র ধুয়ে দিলেই তা পুনরায় সাদা বর্ণ ধারণ করে। (iii) অ্যান্টিসেপটিক হিসাবেও এটি ব্যবহৃত হয়। (iv) এটি ক্লোরিনের সঙ্গে

বিক্রিয়া করে বলে ক্লোরিন দ্বারা বিরঞ্জিত তন্তু থেকে অতিরিক্ত ক্লোরিন দূর করার জন্য তন্তুগুলোকে বিরঞ্জনের পর হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্বারা ধোয়া হয়। (v) হাইড্রাজিন, মিথাইল অ্যালকোহল বা পেট্রোলের সঙ্গে 80—99% হাইড্রোজেন পারক্সাইড মিশিয়ে রকেটের জ্বালানী হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের মাত্রা (Strength of hydrogen peroxide solution) : হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের মাত্রা সাধারণতঃ "আয়তন মাত্রা" (Volume strength) দ্বারা প্রকাশিত হয়। একক আয়তন হাইড্রোজেন পারক্সাইডের কোনো দ্রবণ N. T. P-তে যত আয়তন অক্সিজেন উৎপন্ন করে সেই সংখ্যা দ্বারা হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ঐ দ্রবণের মাত্রা প্রকাশ করা হয়। যদি H_2O_2-এর কোনো একটি দ্রবণের এক আয়তন বিয়োজনের ফলে N. T. P-তে V' আয়তন অক্সিজেন উৎপন্ন করে তবে ঐ দ্রবণের মাত্রা হবে "V-আয়তন"। অতএব, "20-আয়তন" হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের অর্থ হল—এই দ্রবণের 1 ml থেকে N.T.P-তে 20ml অক্সিজেন উদ্ভূত হয়।

অন্যান্য মাত্রার সঙ্গে এই মাত্রার সম্পর্ক : হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিয়োজিত হয়ে উৎপন্ন করে জল ও অক্সিজেন।

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$$

বিক্রিয়া থেকে বলা যায় যে, 2 মোল (অর্থাৎ 68 g) হাইড্রোজেন পারক্সাইড থেকে পাওয়া যায় 1 মোল O_2 (অর্থাৎ 32 গ্রাম)।

অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প অনুযায়ী 1 মোল O_2 N. T. P-তে 22400 আয়তন অধিকার করে। অতএব বলা যায়,

68 g H_2O_2 থেকে N. T. P-তে উদ্ভূত হয় 22400 ml অক্সিজেন

∴ 1 ,, ,, ,, ,, ,, ,, $\frac{22400}{68}$ বা 329·4 ml ,,

আবার, 100 ml দ্রবণে 1 g H_2O_2 উপস্থিত থাকলে হয় 1% দ্রবণ।

∴ 100ml 1% H_2O_2 দ্রবণ থেকে N. T. P-তে উদ্ভূত হয় 329·4 ml O_2

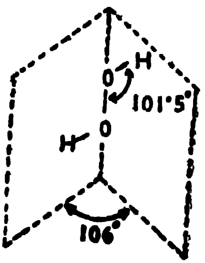
∴ 1 ml 1% H_2O_2 দ্রবণ থেকে N. T. P-তে উদ্ভূত হয় 3·294 ml O_2

অতএব, বলা যায় 1% H_2O_2 দ্রবণ হচ্ছে "3·294-আয়তন" H_2O_2 দ্রবণ। আবার বলা যায়, "3·294-আয়তন" H_2O_2 দ্রবণ হচ্ছে 1% H_2O_2 দ্রবণ।

সুতরাং "1 — আয়তন" H_2O_2 দ্রবণ হচ্ছে $\frac{1}{3 \cdot 294}$ % H_2O_2 দ্রবণ।

সাধারণ ভাবে বলা যায়, "V-আয়তন" মাত্রা বিশিষ্ট H_2O_2 দ্রবণের মাত্রা হবে $V/3 \cdot 294\% H_2O_2$ দ্রবণ।

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের গঠন (**Constitution of hydrogen peroxide**) ঃ যেহেতু H_2O_2 একটি পারক্সাইড সুতরাং এতে '—O—O—' গ্রুপের সঙ্গে দুইটি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত আছে। কিন্তু তারা দুইটি ভিন্ন তলে অবস্থিত এবং তল দুইটি পরস্পরের সঙ্গে 106° কোণে নত আছে (10 4. 3 নং চিত্র)



10.4.3 নং চিত্র

10.5 ওজোন (Ozone ; O_3)

সূচনা ঃ ওজোন অক্সিজেনের একটি রূপ-ভেদ। ভ্যান মরাম (Van Marum, 1785) অক্সিজেনের মধ্যে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করে সর্বপ্রথম ওজোন তৈরী করেন। বায়ুমণ্ডলের উচ্চ স্তরে অতিবেগুনী রশ্মির প্রভাবে কিছু পরিমাণ অক্সিজেন ওজোনে রূপান্তরিত হয়। অম্লযুক্ত জলের বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণের সময়েও উৎপন্ন অক্সিজেনের সঙ্গে কিছু ওজোন মিশ্রিত থাকে। অপ্রীতিকর গন্ধের জন্য এর নাম ওজোন।

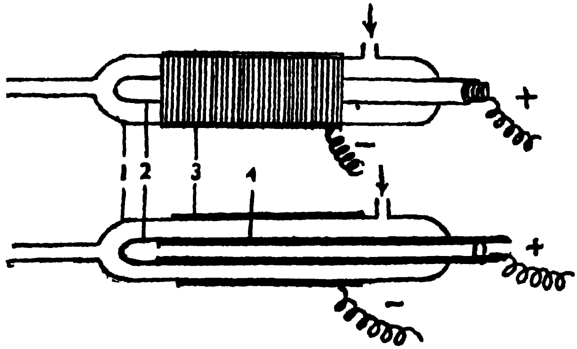
প্রস্তুতি ঃ (i) 0°C উষ্ণতায় জলের সঙ্গে ফ্লোরিনের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় অক্সিজেন। এই অক্সিজেন বিশুদ্ধ নয়। এর মধ্যে প্রায় 12% ওজোন মিশ্রিত থাকে।

(ii) ওজোন প্রস্তুতির সবচেয়ে ভাল উপায় বায়ু বা অক্সিজেনের মধ্যে নিঃশব্দ বিদ্যুৎ-পাত (Silent electric discharge) ঘটানো। এতে অক্সিজেন অংশতঃ ওজোনে রূপান্তরিত হয়। $O_2 + O = O_3 -$ তাপ

যে সকল যন্ত্রের সাহায্যে এভাবে অক্সিজেনকে ওজোনে রূপান্তরিত করা হয় তাঁদেরকে বলে **ওজোনাইজার**। সিমেন্স এবং ব্রুডির ওজোনাইজারই সবচেয়ে বেশী ব্যবহৃত হয়।

সিমেন্সের ওজোনাইজার ঃ এতে দুইটি একমুখ বন্ধ কাঁচ নলকে সমঅক্ষে অনুভূমিক ভাবে রাখা হয়। এমন ভাবে রাখা হয় যাতে একটি নলের খোলা মুখের সামনে অপর নলের বন্ধ মুখটি থাকে। বাইরের নলের দেওয়ালের বাইরের দিক এবং ভিতরের নলের দেওয়ালের ভিতরের

দিক টিনের পাতে আংশিক মোড়া থাকে এবং পাত দুইটি তার দ্বারা আবেশ কুণ্ডলীর (Induction coil) সঙ্গে যুক্ত থাকে। বাইরের নলের সঙ্গে যুক্ত



1 বাইরের মোটা কাঁচ নল 2. ভিতরের সরু কাঁচ নল 3. বাইরের কাঁচ নলের উপর টিনের আবরণ 4. ভিতরের কাঁচনলের ভিতরের দেওয়ালে টিনের আবরণ
10. 5. 1 নং চিত্র

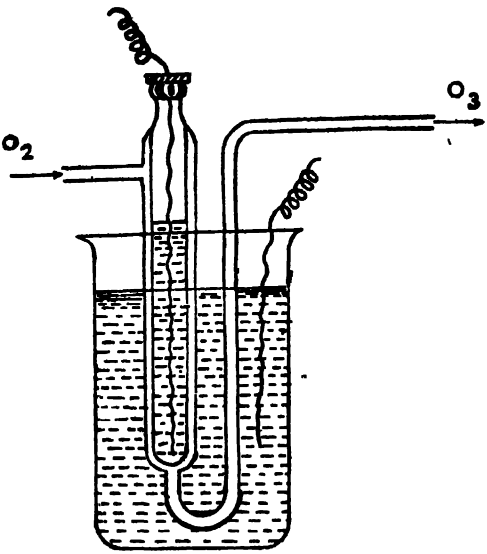
থাকে একটি পার্শ্বনল যার সাহায্যে অক্সিজেন প্রবেশ করতে পারে। এই ওজোনাইজারের সাহায্যে প্রায় 10% রূপান্তর ঘটে (10.5.1নং চিত্র)।

ব্রুডির ওজোনাইজার : এই ওজোনাইজার বিশেষভাবে নির্মিত একটি U-টিউব যার একটি বাহু সরু ও অপর বাহু চওড়া। চওড়া বাহুটি একটি পার্শ্বনল যুক্ত এবং তাতে একমুখ খোলা একটি নল থাকে যার খোলা মুখটি গলিয়ে U-টিউবটির চওড়া বাহুর সঙ্গে সংযুক্ত করে দেওয়া হয়।

সমগ্র যন্ত্রটি একটি বিকারে লঘু কপার সালফেট বা সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে নিমজ্জিত রাখা হয়। চওড়া বাহুর ভিতরের টিউবটিতেও অনুরূপ দ্রবণ রাখা হয় এবং এই টিউবে রক্ষিত দ্রবণে ও বিকারে রক্ষিত দ্রবণে দুইটি প্লাটিনাম তার ডুবিয়ে দেওয়া হয়। তার দুইটিকে যুক্ত করা হয় একটি আবেশ কুণ্ডলীর সঙ্গে। পার্শ্বনল দিয়ে খুব ধীর প্রবাহে অক্সিজেন চালনা করা হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে প্রায় 20% রূপান্তর ঘটে (10.5.2 নং চিত্র)।

বিশুদ্ধ ওজোন : উপরিউক্ত পদ্ধতিতে প্রস্তুত ওজোন সর্বদাই অক্সিজেনের সঙ্গে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। তা থেকে অক্সিজেন দূর করা প্রয়োজন। এই জন্য অক্সিজেন মিশ্রিত ওজোনকে তরল বায়ুর মধ্যে চালনা করা হয়। ঐ উষ্ণতায় ওজোন গাঢ় নীল তরলে তরলীভূত হয়ে যায় এবং তরল বায়ুতে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। এখন আংশিক পাতন দ্বারা বিশুদ্ধ

তরল ওজোন পাওয়া সম্ভব। এই তরলকে সতর্কভাবে বাষ্পীভূত হতে দিলে নীল রঙের বিশুদ্ধ ওজোন গ্যাস পাওয়া যায়।



10. 5. 2 নং চিত্র

ওজোনের ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ এটি মাছের গন্ধ বিশিষ্ট গাঢ় নীলবর্ণের একটি গ্যাস যা জলে অক্সিজেন অপেক্ষা বেশী দ্রবণীয়। $-112 \cdot 4°C$ উষ্ণতায় এটি গাঢ় নীলবর্ণের তরলে তরলীভূত হয় এবং তরল হাইড্রোজেনের উষ্ণতায় এটি কালচে বেগুনি বর্ণের স্ফটিকে পরিণত হয়। তরল ওজোন একটি অতি বিস্ফোরক পদার্থ। অ্যাসেটিক অ্যাসিড, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড, তার্পিন তেল, দারুচিনি তেল, ইত্যাদি দ্রাবকে ওজোন সহজেই দ্রবীভূত হয়ে নীল দ্রবণ তৈরী করে।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) ওজোন দহনের সহায়ক।

(ii) **স্থায়িত্ব**—সাধারণ উষ্ণতায়ই ধীরে ধীরে ওজোন বিয়োজিত হয়। 200°C উষ্ণতায় বিয়োজন অতি দ্রুত ঘটে। $2O_3 \rightleftharpoons 3O_2$। ধুলো-বালি, জৈব পদার্থ বা প্লাটিনাম-ব্ল্যাক (Pt—Black), সিলভার অক্সাইড, ম্যাঙ্গানীজ ডাইঅক্সাইড ইত্যাদির উপস্থিতিতে বিয়োজন দ্রুততর হয়।

(iii) **জারণ ধর্ম ঃ** ওজোন একটি অতি শক্তিশালী জারক দ্রব্য।

নিয়ে ওজোনের জারণক্রিয়ার কতগুলো উদাহরণ দেওয়া হল। লেড সালফাইড ওজোন কর্তৃক লেড সালফেটে রূপান্তরিত হয়।

$$PbS+4O_3=PbSO_4+4O_2$$

সোডিয়াম নাইট্রাইট জারিত হয়ে সোডিয়াম নাইট্রেট হয়।

$$NaNO_2+O_3=NaNO_3+O_2$$

স্ট্যানাস ক্লোরাইড, সালফার ডাইঅক্সাইড, আয়োডিন, হাইড্রোজেন হ্যালাইড (যথা: HCl, HBr, HI), পটাসিয়াম আয়োডাইড ওজোন কর্তৃক জারিত হয়। ওজোনের সংস্পর্শে পারদের তারল্য (Mobility) নষ্ট হয়ে যায়। এটিও ওজোনের জারণ ধর্মের একটি উদাহরণ।

$$3SnCl_2+6HCl+O_3=3SnCl_4+3H_2O\ ;\quad 3SO_2+O_3=3SO_3$$

$$I_2+5O_3+H_2O=2HIO_3+5O_2\ ;\quad 2HCl+O_3=Cl_2+H_2O+O_2$$

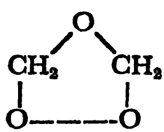
$$2Hg+O_3=Hg_2O+O_2$$

(iv) **বিজারণ ধর্ম:** হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও বেরিয়াম পারক্সাইড ওজোন কর্তৃক বিজারিত হয়।

$$H_2O_2+O_3=H_2O+2O_2\ ;\ BaO_2+O_3=BaO+2O_2$$

ওজোন পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট এবং ক্রোমেটের সঙ্গে বিক্রীয়াহীন।

(v) কিছু অসংপৃক্ত জৈব যৌগের সঙ্গে এটি যুত যৌগ (Additive compound) গঠন করে। যেমন, ইথিলিনের সঙ্গে উৎপন্ন করে ইথিলিন ওজোনাইড।

$CH_2=CH_2+O_3=$ 

ওজোনাইড শ্রেণীর যৌগ

ওজোনের সনাক্তকরণ: (i) ওজোনের একটি বিশেষ গন্ধ আছে। (ii) বেনজিডিন ও টেট্রামিথাইল বেসের অ্যালকোহলীয় দ্রবণে একটি ফিল্টার কাগজ ডুবিয়ে সেই কাগজকে ওজোনের সংস্পর্শে আনলে যথাক্রমে বাদামী ও বেগুনী বর্ণ ধারণ করে। (iii) ওজোনের সংস্পর্শে পারদ তার তারল্য হারায়। একটি টেস্ট টিউবে খানিকটা পারদ নিয়ে ঝাঁকালে তা কাঁচের গায়ে লেগে থাকে না। এবার সামান্য ওজোন চালনা করলেই দেখা যায় পারদ দেওয়ালে লেগে আছে। (iv) সিলভারের উপরিতলে বাদামী-সিলভার অক্সাইড উৎপন্ন হয় ওজোন কর্তৃক।

ব্যবহার ঃ জীবাণুনাশক বলে পানীয় জলের বিশুদ্ধিকরণে ও জীবাণু-শূন্যকরণে এটি ব্যবহৃত হয়। চিড়িয়াখানা, ভূগর্ভস্থ রেলপথ, ইত্যাদি স্থানের অবিশুদ্ধ বায়ুকে বিশুদ্ধ করার জন্যও ওজোন ব্যবহৃত হয়। তেল, মোম, হস্তীদন্ত ইত্যাদির বিরঞ্জনে এটি ব্যবহৃত হয়।

হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও ওজোনের তুলনা

ধর্ম	ওজোন	হাইড্রোজেন পারক্সাইড
গন্ধ, বর্ণ, প্রকৃতি	গ্যাস, নীল রঙের গ্যাস, মাছের গন্ধ, মৌলিক পদার্থ,	নীলাভ, HNO_3-এর গন্ধযুক্ত তরল যৌগিক পদার্থ।
লিটমাসের সঙ্গে বিক্রিয়া	বিক্রিয়াহীন।	আম্লিক, বিশুদ্ধ H_2O_2 নীলকে লাল করে।
দ্রাবক	জলে অল্প দ্রবণীয়। CCl_4, তার্পিন তেলে নীল দ্রবণ তৈরী করে।	জলে দ্রবীভূত। ইথারেও দ্রবীভূত।
স্থায়িত্ব	অস্থায়ী, স্বাভাবিক উষ্ণতায় বিয়োজিত হয়। বন্ধুর তলের সংস্পর্শে ও উত্তাপে বিয়োজন দ্রুততর হয় $2O_3 \rightleftharpoons 3O_2$	অস্থায়ী, স্বাভাবিক উষ্ণতায় বিয়োজিত হয়। বন্ধুর তলের সংস্পর্শে ও উত্তাপে বিয়োজন দ্রুততর হয়। $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$
জারণ ধর্ম	জারণ ধর্মের জন্য পটাসিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ থেকে আয়োডিন বিমুক্ত করে $2KI + O_3 + H_2O = 2KOH + I_2 + O_2$	জারণ ধর্মের জন্য এটি অম্লযুক্ত KI দ্রবণ থেকে I_2 বিমুক্ত করে।

প্রশ্নাবলী

1. নিম্নলিখিত কোন্ কোন্ রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করলে স্বাভাবিক উষ্ণতায় অক্সিজেন প্রস্তুত করা সম্ভব—MnO_2,Na_2O_2,H_2SO_4,H_2O, $KMnO_4$, H_2O_2, $Pb(NO_3)_2$? তোমার গৃহীত পদার্থগুলি থেকে কিভাবে গ্যাসটি প্রস্তুত করবে বিশদভাবে লিখ।

2. অক্সিজেনের শিল্প-প্রস্তুতির একটির বিবরণ দাও। অক্সিজেনের প্রধান প্রধান ব্যবহার উল্লেখ কর।

3. অক্সিজেন যে একটি জারক দ্রব্য উদাহরণ সহযোগে দেখাও। বক্রিয়ায় অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন উল্লেখ কর। পারক্সাইড ও সুপার অক্সাইডের উদাহরণ দাও। ঐ অক্সাইডগুলিতে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা কত ?

4. ক্যালসিয়াম হাইড্রাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় একটি বর্ণহীন গন্ধহীন গ্যাস নির্গত হয়। গ্যাসটি কি ? পরীক্ষাগারে গ্যাসটি কিভাবে তৈরী করা যায় ? গ্যাসটিকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পেতে গেলে কি করা প্রয়োজন ?

5. একটি বর্ণহীন গ্যাস (A) অপর একটি বর্ণহীন গ্যাসের (B) সঙ্গে বিক্রিয়ায় একটি গ্যাস (C) উৎপন্ন করে। C-গ্যাসটির জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয় এবং এটি উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় B-গ্যাসটি উৎপন্ন করে। A-গ্যাসটি ক্যালসিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে একটি কঠিন পদার্থ (D) যা একটি তরল পদার্থের (E) সঙ্গে বিক্রিয়া করে A-গ্যাসটি উৎপন্ন করে। A,B,C,D ও E-এর পরিচয় দাও। রাসায়নিক সমীকরণ সহযোগে বিক্রিয়াগুলি ব্যাখ্যা কর।

6. পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করলে কোনো পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায় না অথচ উক্ত দ্রবণে কিছুটা H_2SO_4 ও এক টুকরা জিংক যোগ করার ফলে দ্রবণ বর্ণহীন হয়ে যায়। এর কারণ কি ?

7. কোন্ ভিত্তিতে জলকে খর ও মৃদু এই দুই ভাগে ভাগ করা যায় ? জিংক নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ এবং সোডিয়াম নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ খর না মৃদু ? তোমার উত্তরের কারণ ব্যাখ্যা কর। খর জলকে কিভাবে মৃদু করা যায় ?

8. জিওলাইট ও পারমুটিট কি ? যে-নীতির উপর ভিত্তি করে পারমুটিট পদ্ধতিতে খরজল মৃদু করা হয় তা উল্লেখ করে পদ্ধতিটি বর্ণনা কর। জল মৃদুকরণের প্রয়োজন হয় কেন ?

9. কিভাবে প্রমাণ করা যায় যে, জলে হাইড্রোজেন আছে ? জলের অণুর সংকেত যে H_2O তা কিভাবে বোঝা যায় ?

10. হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনঘটিত এমন একটি যৌগের নাম কর যাতে অক্সিজেনের জারণ-সংখ্যা-I। সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে যৌগটি কি-ভাবে তৈরী করবে ?

11 হাইড্রোজেন পারক্সাইড কেন জারণ ও বিজারণ উভয় ধর্ম প্রকাশ করে ? উভয় ধর্মের উদাহরণ দাও। "30-আয়তন" H_2O_2 বলতে কি বোঝ ? উক্ত আয়তন মাত্রাবিশিষ্ট H_2O_2-এর শতকরা মাত্রা কত হবে ?

12. বর্ণহীন একটি তরল পদার্থ (A) ও একটি কঠিন পদার্থের (B) মিশ্রণের মধ্যে H_2SO_4 যোগ করার ফলে একটি বর্ণহীন গ্যাস (C) উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসটির মধ্যে যদি নিঃশব্দ বিদ্যুৎ-পাত ঘটানো যায় তবে অপ্রীতিকর গন্ধযুক্ত অপর একটি গ্যাসীয় পদার্থ (D) উৎপন্ন হয়। D ইথিলিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ওজোনাইড শ্রেণীর যৌগ গঠন করে। A,B,C ও D-এর পরিচয় দাও। রাসায়নিক সমীকরণ সহ ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা দাও। D নামক গ্যাসটির প্রস্তুতির একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

13. যখন (i) তপ্ত ও গাঢ় কষ্টিক পটাস দ্রবণে Al যোগ করা হয়, (ii) লাল-তপ্ত লোহার উপর ষ্টীম চালনা করা হয়, (iii) লাল-তপ্ত কার্বনের উপর ষ্টীম চালনা করা হয়, (iv) ম্যাগনেসিয়াম বাইকার্বনেট দ্রবণে চুন-জল যোগ করা হয়, (v) বেরিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে ফসফরিক অ্যাসিড যোগ করা হয়, (vi) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইডের অ্যাসিড দ্রবণের সঙ্গে H_2O_2 মিশ্রিত করা হয়, (vii) H_2O_2-এর মধ্যে ওজোন গ্যাস চালনা করা হয়, (viii) লেড সালফাইডের সঙ্গে H_2O_2 মিশ্রিত করা হয়, (ix) ম্যাঙ্গানাস সালফেটের সঙ্গে H_2O_2 মিশ্রিত করা হয়, তখন কি ঘটে রাসায়নিক সমীকরণ-সহ ব্যাখ্যা কর।

একাদশ অধ্যায়

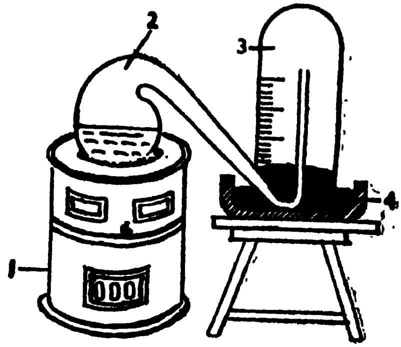
বায়ু ও নাইট্রোজেন

(Air and Nitrogen)

11.1 বায়ু

সূচনা ঃ ভূত্বকের উপরে পৃথিবীকে পরিবেষ্টন করে প্রায় 300 মাইল স্থান জুড়ে বায়ুর স্তর আছে। বিজ্ঞানী ল্যাভয়সিয়ে প্রমান করেন যে, বায়ুর দুইটি উপদান হল গ্যাসীয় মৌলিক পদার্থ অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন এবং এটি একটি মিশ্রণ।

ল্যাভয়সিয়ের পরীক্ষা ও বায়ুর উপাদান ঃ পরীক্ষা (I) ঃ ঊর্দ্ধমুখে বাঁকানো লম্বাগলাযুক্ত একটি বকযন্ত্রে (Retort-এ) ল্যাভয়সিয়ে 4 আউন্স পারদ রাখেন। 11. 1. 1. নং চিত্রের ন্যায় বকযন্ত্রের প্রান্তভাগটি পারদপূর্ণ একটি পাত্রে আংশিকভাবে ডুবিয়ে রাখেন। একটি অংশাঙ্কিত বেলজার খোলা মুখটির উপরে উপুড় করে রাখেন। এই অবস্থায় অবিচ্ছিন্নভাবে 12 দিন ধরে বকযন্ত্রটিকে উত্তপ্ত করতে থাকেন।



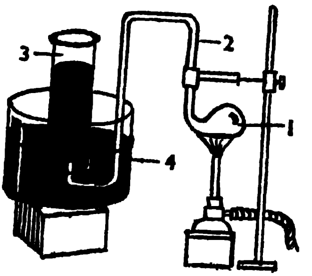
1. বার্ণার 2. বকযন্ত্র 3. নাইট্রোজেন 4. পারদ

11. 1. 1. নং চিত্র

পর্যবেক্ষণ ঃ (i) বকযন্ত্রের রূপালী পারদের উপর একটি লাল সর উৎপন্ন হয়। (ii) পরীক্ষার পূর্বে বেলজারে যতটা বায়ু আবদ্ধ ছিল তার $\frac{1}{5}$ ভাগ (4 আউন্স পারদের জন্য তা 8 ঘনইঞ্চি) কমে যায়। (iii) বেলজারের অবশিষ্ট বায়ু অদাহ্য এবং দহনের সহায়কও নয়। এটিতে প্রশ্বাস নেওয়া যায় না।

সিদ্ধান্ত ঃ বেলজারে বায়ুর যে-অংশ পরীক্ষার পর অবশিষ্ট থাকে তা বায়ুর একটি উপাদান। এই উপাদানটি নাইট্রোজেন। ল্যাভয়সিয়ে এটির নাম দেন নিষ্প্রাণ বায়ু (Azote)। বেলজারের বায়ুর এটি $\frac{4}{5}$ ভাগ।

পরীক্ষা (II) : (I) নং পরীক্ষায় উৎপন্ন লাল সরকে ল্যাভয়সিয়ে উর্দ্ধমুখে বাঁকানো নির্গমনল যুক্ত একটি শক্ত কাঁচের বাল্বে রাখেন। নির্গমনলের প্রান্তটি আংশিকভাবে পারদপূর্ণ পাত্রে ডুবানো থাকে এবং এটির খোলা মুখের উপর পারদপূর্ণ একটি গ্যাসজার উপুড় করা থাকে। তারপর ল্যাভয়সিয়ে বাল্বটিকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করেন (11. 1. 2 নং চিত্র)।



1. বক যন্ত্র 2. নির্গম নল 3. অক্সিজেন
4. পারদ
11. 1. 2. নং চিত্র

পর্যবেক্ষণ : (i) উত্তাপের ফলে লাল সর পারদে বিয়োজিত হয়। (ii) পারদের নিম্নাপসারণের দ্বারা গ্যাসজারে একটি গ্যাস সঞ্চিত হয় এবং এটির আয়তন 8 ঘন ইঞ্চি। (iii) সঞ্চিত গ্যাসটি প্রশ্বাসের ও দহনের সহায়ক।

সিদ্ধান্ত : সঞ্চিত গ্যাসটিও বায়ুর একটি উপাদান। এটি হল অক্সিজেন।

সুতরাং, ল্যাভয়সিয়ের পরীক্ষা থেকে জানা গেল যে, আয়তন হিসাবে বায়ুর $\frac{1}{5}$ ভাগ হল অক্সিজেন এবং $\frac{4}{5}$ ভাগ হল নাইট্রোজেন।

পারদকে বায়ুতে উত্তপ্ত করলে তা মারকিউরিক অক্সাইডের লাল সর উৎপন্ন করে। লালরঙের এই মারকিউরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত করলে তা আবার পারদ ও অক্সিজেনে বিয়োজিত হয়।

$$2Hg+O_2=2HgO\ ;\quad 2HgO=2Hg+O_2$$

বায়ুর অন্যান্য উপাদান : অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন ছাড়াও বায়ুতে কার্বন ডাইঅক্সাইড, জলীয় বাষ্প এবং আর্গন, নিয়ন, জেনন. হিলিয়াম, ক্রিপটন্ প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাস আছে।

কার্বন ডাইঅক্সাইডের উপস্থিতির পরীক্ষা : একটি খোলা পাত্রে স্বচ্ছ চুন-জল রেখে দিলে দেখা যায় যে কিছুক্ষণ পরে তা ঘোলা হয়ে যায়। এই চুন-জলকে পরিস্রাবণ করলে ফিল্টার কাগজে একপ্রকার সাদা অধঃক্ষেপ জমা হয়। এই অধঃক্ষেপকে একটি টেস্ট টিউবে নিয়ে তাতে লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড যোগ করলে একটি বর্ণহীন গন্ধহীন গ্যাস উদ্ভূত হয় এবং এই গ্যাস অ্যাসিড-সিক্ত ডাইক্রোমেট কাগজকে সবুজ করে না। এতেই প্রমাণিত

হয় যে, গ্যাসটি কার্বন ডাইঅক্সাইড। বায়ুতে সালফার ডাইঅক্সাইড থাকলেও চুন-জল ঘোলা হয়। কিন্তু উৎপন্ন অধঃক্ষেপ সে-ক্ষেত্রে লঘু HCl-এর সঙ্গে বর্ণহীন পোড়া গন্ধকের গন্ধযুক্ত গ্যাস উৎপন্ন করে যা অ্যাসিড-সিক্ত কমলা রঙের ডাইক্রোমেট কাগজকে সবুজ বর্ণে পরিণত করে।

জলীয়বাষ্পের উপস্থিতির পরীক্ষা : একটি কাঁচের পাত্রে বরফ ও সাধারণ লবণের মিশ্রণ নিয়ে তা ঢেকে রাখলে দেখা যায় যে, পাত্রের বাইরের দিকের দেওয়ালে জলবিন্দু জমেছে। বায়ু যখন পাত্রটির দেওয়ালের সংস্পর্শে আসে তখন বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প ঠাণ্ডা হয়ে জল বিন্দুতে পরিণত হয়। পাত্রের দেওয়ালের উষ্ণতা 0°C-এর নীচে থাকে।

বায়ুর আয়তনিক সংযুতি		শুষ্ক বায়ুর ভৌলিক সংযুতি	
উপাদান	শতাংশ	উপাদান	শতাংশ
N	77·16	N	75·527
O	20·60	O	23·140
H_2O	1 40		
CO_2	0 40	CO_2	0 047
নিষ্ক্রিয়গ্যাস	0·80	নিষ্ক্রিয় গ্যাস	1 284

এই সংযুতি স্থির নয়। বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্থানে এর সংযুতি বিভিন্ন।

বায়ুর উপাদানগুলির প্রয়োজনীয়তা : (i) বায়ুর অক্সিজেন একটি অতি প্রয়োজনীয় পদার্থ। এটির জন্যই পৃথিবীতে আগুন জ্বালানো সম্ভব। প্রাণী ও উদ্ভিদ জগৎ এই অক্সিজেনের জন্যই শ্বাস-প্রশ্বাস নিয়ে প্রাণধারণ করতে পারে। (ii) বায়ুতে যদি শুধু অক্সিজেন থাকতো তবে প্রশ্বাস লওয়া সম্ভব হত না। নাইট্রোজেন থাকার ফলেই তা সম্ভব হচ্ছে। এছাড়া উদ্ভিদ ও প্রাণী জগতের দেহ গঠনের একটি প্রধান উপাদান নাইট্রোজেন। অবশ্য গ্যাসীয় নাইট্রোজেন প্রত্যক্ষভাবে একাজ সাধন করে না। বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নাইট্রোজেন (বিদ্যুদ্চমকের সময়) উৎপন্ন করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড যা বৃষ্টির জলের সঙ্গে ভূপৃষ্ঠে এসে পড়ে। তখন উদ্ভিদ তাকে নানা জটিল প্রক্রিয়ায় গ্রহণ করে এবং সেই উদ্ভিদকে খাদ্য রূপে গ্রহণ করে প্রাণীকুল নাইট্রোজেনের চাহিদা মেটায়। (iii) কার্বন ডাই-অক্সাইড ছাড়া উদ্ভিদ নিজের খাদ্য উৎপন্ন করতে পারে না। সূর্যালোকের উপস্থিতিতে উদ্ভিদ CO_2 থেকে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন করে। এই প্রক্রিয়াকে বলে সালোক সংশ্লেষণ (Photosynthesis)। (iv) পৃথিবীকে-

সুজলা রাখতে সাহায্য করে বায়ুর জলীয় বাষ্প। বৃষ্টি, তুষার, শিশির, ইত্যাদি সকলেরই কারণ জলীয় বাষ্প।

বায়ু একটি মিশ্র পদার্থ রাসায়নিক যৌগ নয়ঃ বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ হয়েছে বায়ু বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থের একটি মিশ্রণ মাত্র। নিম্নে বিভিন্ন পরীক্ষা ও যুক্তি উল্লেখ করা হচ্ছে।

(i) রাসায়নিক যৌগের সংযুক্তিমিতির (Stoichiometric) অনুপাত সর্বদাই স্থির। বায়ুর ক্ষেত্রে তা নয়। যেমন, বার্লিনের বায়ুতে আয়তন হিসাবে অক্সিজেন আছে 20·96—20·973%, প্যারীসের বায়ুতে 20·913—20·991%, কলিকাতার বায়ুতে 20·105—20·385%।

(ii) যৌগ গঠন কালে সর্বদাই তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয়। নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের মিশ্রনে গবেষণাগারে বায়ু তৈরী করে দেখানো হয়েছে যে, এতে তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয় না।

(iii) তরল বায়ুর বাষ্পায়নে দেখা যায় নাইট্রোজেন, অক্সিজেনের পূর্বে, বাষ্পায়িত হয়। যৌগের ক্ষেত্রে উপাদানগুলি পৃথকভাবে বাষ্পায়িত হয় না; সম্পূর্ণ যৌগটি এককভাবে বাষ্পায়িত হয়।

(iv) জলে নাইট্রোজেন অপেক্ষা অক্সিজেন বেশী দ্রবণীয়। যৌগের উপাদানগুলি যৌগে থাকাকালীন ভিন্ন ভিন্ন দ্রবণীয়তা প্রদর্শন করে না।

(v) বায়ুর ব্যাপন ঘটানো হলে দেখা যায় নাইট্রোজেন আগে ব্যাপীত হয়, অক্সিজেন তার পরে ব্যাপীত হয় এই সহজ প্রক্রিয়ায় উপাদানগুলি পৃথক হয়ে যাচ্ছে। রাসায়নিক যৌগকে এইভাবে তার উপদানে পৃথক করা যাবে না।

(vi) বায়ুর ঘনত্ব প্রমাণ করে যে, এটি নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের একটি মিশ্রণ মাত্র; N_4O-রূপে অবস্থিত যৌগ নয়।

11.2 নাইট্রোজেন (Nitrogen ; N_2) :

সূচনাঃ নাইট্রোজেন মৌলের বায়ুতে অস্তিত্ব প্রথম প্রমাণ করেন কার্ল শীলি।

বায়ুতে, কয়লা খনির এবং আগ্নেয়গিরির গ্যাসে এটি মুক্ত অবস্থায় থাকে। প্রোটিন, ইউরিয়া, ধাতব নাইট্রেট প্রভৃতি জৈব ও অজৈব যৌগে এটি বর্তমান।

প্রস্তুতিঃ (i) বৃহদায়তন পদ্ধতিঃ বিশুদ্ধ বায়ুর তরলীকরণের

দ্বারা নাইট্রোজেনের শিল্পোৎপাদন করা হয়। এবিষয়ে দশম অধ্যায়ে আলোচনা আছে।

(ii) গবেষণাগারে বায়ু থেকে নাইট্রোজেন প্রস্তুতি : আবদ্ধ বায়ুতে ফসফরাস, গন্ধক, পারদ, কপার ইত্যাদির দহনের ফলে বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে এই মৌলগুলি যৌগ গঠন করে এবং নাইট্রোজেন অবশিষ্ট থাকে। $2Cu+O_2\ (+N_2)=2CuO\ (+N_2)$। এই ভাবে প্রাপ্ত নাইট্রোজেনে কার্বন ডাইঅক্সাইড ও নিষ্ক্রিয় গ্যাস মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসীয় মিশ্রণকে যদি উচ্চ চাপে জলের মধ্যে চালনা করা যায় তবে CO_2 জলে দ্রবীভূত হয়। অদ্রাব্য নাইট্রোজেন ঘন H_2SO_4-এর মধ্যে চালনা করে শুষ্ক করা হয়। তবে এতে নিষ্ক্রিয় গ্যাস থেকেই যায়।

(iii) অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা যায়। লাল-তপ্ত কপার অক্সাইড, সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট বা ক্লোরিনের দ্বারা অ্যামোনিয়ার জারণ ঘটিয়ে এটি প্রস্তুত করা সম্ভব।

$$3CuO+2NH_3=3Cu+3H_2O+N_2$$

$$3NaOCl+2NH_3=3NaCl+3H_2O+N_2$$

$$3Cl_2+2NH_3=6HCl+N_2$$

নাইট্রিক অক্সাইড ও অ্যামোনিয়ার মিশ্রণকে লাল-তপ্ত কপারের উপর চালনা করেও নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা যায়।

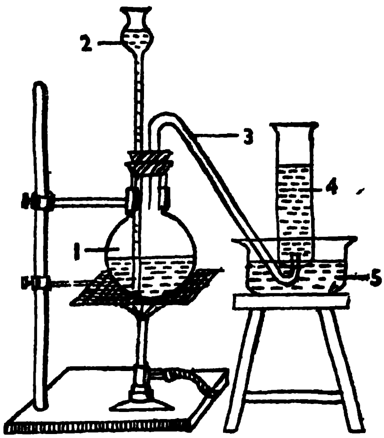
$$6\ NO+4NH_3=5N_2+6H_2O$$

(iv) গবেষণাগারের পদ্ধতি : গবেষণাগারে সাধারণতঃ অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইটের দ্রবণকে উত্তপ্ত করে নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা হয়। $NH_4NO_2=N_2+2H_2O$। বিক্রিয়াটি অতি দ্রুত ঘটে। ফলে বিস্ফোরণের সম্ভাবনা থাকে (কারণ নাইট্রোজেন যে হারে উৎপন্ন হয় সে হারে বেরিয়ে আসতে পারে না। ফলে ফ্লাস্কে গ্যাস সঞ্চিত হয়ে চাপ দেয়। এতে বিস্ফোরণ ঘটে)। এইজন্য কেবল অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইটের দ্রবণকে উত্তপ্ত না করে NH_4Cl ও $NaNO_2$-এর দ্রবণের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করা হয়। অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম নাইট্রাইটের মধ্যে প্রথমে বিক্রিয়া ঘটে; উৎপন্ন হয় অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট এবং এই অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইটই তাপবিয়োজিত হয়ে উৎপন্ন করে নাইট্রোজেন।

$$NH_4Cl+NaNO_2=NH_4NO_2+NaCl\ ;\ NH_4NO_2=N_2+2H_2O$$

পরীক্ষা : গোলতল ফ্লাস্কের মুখে ছিদ্রযুক্ত একটি ছিপি এঁটে দেওয়া

হয়। ছিপির একটি ছিদ্র দিয়ে প্রবেশ করানো হয় একটি দীর্ঘ নাল ফানেল এবং অপরটি দিয়ে নির্গম নল। নির্গম নলের অপর প্রান্ত উর্দ্ধমুখী। এই প্রান্তটি জলপূর্ণ গ্যাসদ্রোণীতে ডুবানো থাকে। এর উপর একটি জলপূর্ণ গ্যাস জার উল্টানো থাকে। এবার দীর্ঘ-নাল ফানেল দিয়ে ফ্লাস্কে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম নাইট্রাইটের দ্রবণ ঢাল হয়। দ্রবণ দুইটি প্রায় সম-পরিমাণে লওয়া হয়। ফ্লাস্কটি ত্রিপদ স্ট্যাণ্ডের উপর রক্ষিত তার জালির উপর বসানো হয়। এখন একটি বার্নারের সাহায্যে ধীরে ধীরে দ্রবণটি উত্তপ্ত করা হয়।



1. গোলতল ফ্লাস্ক 2. দীর্ঘ-নল ফানেল 3. নির্গম নল 4 জল 5. জল
11. 2. 1 নং চিত্র

সতর্কতা: দীর্ঘ-নল ফানেলের নলের প্রান্তটি দ্রবণে ডুবে থাকা প্রয়োজন। দ্রবণটি ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করতে হবে। যখনই দেখা যাবে দ্রবণ ফানেলের নল দিয়ে উপর দিকে উঠে আসছে তখনই বার্নার সরিয়ে নিতে হবে। ফ্লাস্কে উৎপন্ন নাইট্রোজেনের চাপের ফলেই এটা ঘটে।

সংগ্রহ: বিক্রিয়ায় উৎপন্ন নাইট্রোজেন নির্গম নলের সাহায্যে গ্যাস-জারে প্রবেশ করে এবং জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা জারে সঞ্চিত হয়।

ধর্ম: ভৌত ধর্ম: গ্যাসটির কোনো বর্ণ, গন্ধ বা স্বাদ নেই। জলে এটি খুব সামান্য দ্রবীভূত হয়। গ্যাসটির বাষ্পীয় ঘনত্ব 14। নাইট্রোজেনের সংকট উষ্ণতা —147°·13C এবং সংকট চাপ 33·49 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ। অর্থাৎ, উক্ত উষ্ণতায় উক্ত চাপ প্রয়োগ করলে নাইট্রোজেন তরলীভূত হয়। (উষ্ণতাটিকে সংকট উষ্ণতা বলার কারণ ঐ উষ্ণতার উর্দ্ধে থাকলে যতই চাপ প্রয়োগ করা যাক না কেন গ্যাসটি তরল হবে না। —147°·13C উষ্ণতায় এনে নাইট্রোজেনের উপর কমপক্ষে 33·49 অ্যাটমস্ফিয়ার চাপ প্রদান করলে এটি তরল হবে।) তরল নাইট্রোজেনের স্ফুটনাংক—195°·81C। তরল নাইট্রোজেন বর্ণহীন তরল। দ্রুত বাষ্পায়নে এটি তরল অবস্থা থেকে বরফের

স্থায় কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। গ্যাসটি বিষ নয় কিন্তু প্রশ্বাসে সাহায্য করেনা।

রাসায়নিক ধর্ম : (i) নাইট্রোজেন দাহ্যও নয় দহনের সহায়কও নয়। নাইট্রোজেন গ্যাসপূর্ণ একটি জারের মধ্যে একটি জ্বলন্ত কাঠি ফেললে কাঠিটি নিভে যায় এবং গ্যাসটিও জ্বলে ওঠে না।

(ii) নাইট্রোজেন বহু যৌগ গঠন করে। এই যৌগগুলিতে নাট্রোজেনের বিভিন্ন জারণ-সংখ্যা দেখা যায়। যেমন,

$$-III, +I, +II, +III, +IV \text{ ও } +V$$

নাইট্রোজেন, ভ্যানাডিয়াম পেণ্টক্সাইড (V_2O_5) বা লোহার কুচির উপস্থিতিতে এবং 450°C উষ্ণতায় ও 200 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে, হাইড্রোজেনের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে V_2O_5 বা লোহার কুচি অনুঘটক রূপে কাজ করে।

$$N_2+3H_2=2NH_3$$

এই প্রক্রিয়াটি ব্যবহার করে শিল্পে NH_3 প্রস্তুত করা হয়।

অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নাইট্রোজেন অনেকগুলি অক্সাইড উৎপন্ন করে। বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের প্রভাবে নাইট্রোজেন অক্সিজেনের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। $N_2+O_2=2NO$। বায়ুমণ্ডলীয় নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। নাইট্রোজেনের অন্যান্য অক্সাইডগুলি হচ্ছে—নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O), নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2), নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড (N_2O_5)। এই যৌগগুলি N ও O-এর প্রত্যক্ষ সংযোগে তৈরী হয় না। (এগুলির প্রস্তুত প্রণালী ত্রয়োদশ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)

হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ছাড়াও নাইট্রোজেন আরও অনেক ধাতু ও অধাতুর সঙ্গে প্রত্যক্ষ ও অপ্রত্যক্ষভাবে যুক্ত হয়ে দ্বিমৌলিক যৌগ উৎপন্ন করে। এদের বলা হয় নাইট্রাইড। নাইট্রোজেন গ্যাসে লিথিয়াম ধাতুকে উত্তপ্ত করলে তৈরী হয় লিথিয়াম নাইট্রাইড (Li_3N)।

$$6Li+N_2=2Li_3N$$

এছাড়া ম্যাগনেসিয়াম, ক্যালসিয়াম, স্ট্রনসিয়াম ধাতু লাল-তপ্ত অবস্থায় এবং বেরিলিয়াম 1000°C উষ্ণতায় নাইট্রাইড উৎপন্ন করে। এই নাইট্রাইডগুলির সাধারণ (General) সংকেত M_3N_2 ($M=Mg$, Ca, Sr, Be,)।

ক্যালসিয়াম কার্বাইডের CaC_2) সঙ্গে নাইট্রোজেন উত্তাপে যুক্ত হয়ে তৈরী করে গ্রাফাইট ও ক্যালসিয়াম সায়ানামাইড (NCaCN) এই মিশ্রণ নাইট্রোলিম নামে পরিচিত।

$$CaC_2+N_2=NCaCN+C$$

সায়ানামাইড একটি উত্তম সার। এটি জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। $NCaCN+3H_2O=CaCO_3+2NH_3$

নাইট্রোজেনের মধ্যে নিম্নচাপে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করলে নাইট্রোজেনের রূপান্তর ঘটে। দেখা যায় এই নাইট্রোজেন অত্যন্ত সক্রিয় এবং ফসফরাস, সোডিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, প্রভৃতি বহু মৌল এবং জৈব যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। এই নাইট্রোজেনের নাম দেওয়া হয়েছে সক্রিয় নাইট্রোজেন (Active nitrogen)।

নাইট্রোজেনের সনাক্তকরণ: (i) বর্ণহীন ও গন্ধহীন এই গ্যাসে জ্বলন্ত কাঠি রাখলে তা নিভে যায়। চুন-জলকে এটি ঘোলা করে না।

(ii) এক টুকরা ম্যাগনেসিয়াম লাল-তপ্ত অবস্থায় নাইট্রোজেন গ্যাসভর্তি একটি জারে রাখলে যে পদার্থটি উৎপন্ন হয় তার সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।

নাইট্রোজেনের ব্যবহার: (i) নাইট্রোজেন প্রাণীদেহ ও জীবদেহের অপরিহার্য উপাদান। উদ্ভিদ প্রয়োজনীয় নাইট্রোজেন গ্রহণ করে এবং প্রাণী উদ্ভিদ থেকে তা সংগ্রহ করে। তবে উদ্ভিদ বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন সরাসরি গ্রহণ করতে পারে না। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তা যৌগে আবদ্ধ (Fixed) হলে উদ্ভিদ তা গ্রহণ করে। তাই বিভিন্ন রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় (যেমন, হেবার পদ্ধতিতে নাইট্রোজেনকে অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত করা হয়, বার্কল্যাণ্ড-আইড পদ্ধতিতে নাইট্রোজেনকে অক্সাইডরূপে আবদ্ধ করা হয়, সায়ানামাইড পদ্ধতিতে তাকে নাইট্রোলিমে রূপান্তরিত করা ইত্যাদি) আবদ্ধ করে সেই যৌগগুলিকে সার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। (ii) নিষ্ক্রিয় বলে কোনো কোনো ধাতুর নিষ্কাশন প্রক্রিয়ায় নিষ্ক্রিয় আবহমণ্ডল (Inert atmosphere) সৃষ্টি করতে নাইট্রোজেন ব্যবহৃত হয়। (iii) ইলেকট্রিক বাল্বে এবং উচ্চ উষ্ণতামাপক থার্মোমিটারে এই গ্যাস ব্যবহৃত হয়। (iv) তরল নাইট্রোজেন একটি শৈত্য সৃষ্টিকারী পদার্থ (Refrigerant)।

নাইট্রোজেন চক্র (Nitrogen Cycle): উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে প্রোটীন আছে। প্রোটীন গঠনের জন্য নাইট্রোজেন একটি প্রয়োজনীয়

উপাদান। বায়ু থেকে নাইট্রোজেন গৃহীত হয় অথচ বায়ুতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ স্থিরই আছে। কারণ বিভিন্নভাবে উদ্ভিদ্ ও প্রাণী বায়ুতে নাইট্রোজেন ত্যাগ করে। **বায়ু থেকে নাইট্রোজেনের দূরীভবন ও বায়ুতে নাইট্রোজেনের প্রত্যাবর্তনই নাইট্রোজেন চক্র।**

অ্যালজি, ছত্রাক, মস ও লেগুমিনাস জাতীয় উদ্ভিদ্ এবং অ্যাজোটো ব্যাকটার ক্রোকোকাম প্রত্যক্ষভাবে বায়ু থেকে নাইট্রোজেন গ্রহণ করে। আবার, মেঘের ঘর্ষণজনিত বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের দ্বারা নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সংযোগে নাইট্রোজেনের অক্সাইড গঠিত হয় এবং বৃষ্টির জলের সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিড গঠন করে। মাটিতে বিভিন্ন ধাতব পদার্থের সঙ্গে মিলিত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড নাইট্রেট লবণে পরিণত হয়। উদ্ভিদ তার মূলের সাহায্যে এই সকল নাইট্রেটকে আত্মস্থ করে। উদ্ভিদভোজী প্রাণী উদ্ভিদ ভক্ষণ করে এবং প্রাণীভোজী অন্য প্রাণীকে ভক্ষণ করে। এইভাবে প্রাণীরা নাইট্রোজেনের প্রয়োজন পূরণ করে। ফলে বায়ুতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ হ্রাস পায়। আবার উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহের বিনাশ, পাচন ও অন্তর্ধূম পাতন এবং মূত্রের বিয়োজনে অ্যামোনিয়া তৈরী হয়। এই অ্যামোনিয়া নাইট্রোসিফাইং ব্যাকটেরীয়ার দ্বারা নাইট্রাস অ্যাসিডে এবং এই অ্যাসিড নাইট্রিফাইং ব্যাকটেরীয়ার দ্বারা নাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। নাইট্রিক অ্যাসিড ডিনাইট্রিফাইং ব্যাকটেরীয়ার সাহায্যে নাইট্রোজেন গ্যাসে পরিণত হয় এবং বায়ুতে মুক্তি পায়।

প্রশ্নাবলী

1. বায়ুর উপাদান কি কি? বায়ু যে মিশ্র পদার্থ তা যুক্তিদ্বারা প্রতিষ্ঠিত কর। বায়ুর কোন্ উপাদানের জন্য চুন-জল ঘোলা হয়? এই উপাদানটির প্রয়োজনীয়তা কি?

2. অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম নাইট্রাইট দ্রবণকে উত্তপ্ত করলে একটি বর্ণহীন গ্যাস নির্গত হয়। গ্যাসটি কি? হাইড্রোজেন, লিথিয়াম ম্যাগনেসিয়াম ও ক্যালসিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে গ্যাসটির বিক্রিয়ায় কি ঘটে?

3. নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলির নাম কর। ঐ যৌগগুলিতে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা উল্লেখ কর। এগুলি কি জাতীয় অক্সাইড? জলের সঙ্গে অক্সাইডগুলির কি বিক্রিয়া ঘটে?

4. বায়ুকে কিভাবে তরল করা যায়? তরল বায়ু থেকে কিভাবে নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা যায়? বায়ুকে তরল না করে তা থেকে কিভাবে নাইট্রোজেন পাওয়া যেতে পারে? এই নাইট্রোজেনের ঘনত্ব পরীক্ষাগারে উৎপন্ন নাইট্রোজেনের তুলনায় বেশী না কম? কারণ উল্লেখ কর।

দ্বাদশ অধ্যায়

কতকগুলি অধাতুর পরিচিতি

(About some non-metals)

12.1 কার্বন (Carbon ; C)

সূচনা: কার্বন একটি অধাতব মৌলিক পদার্থ। মুক্ত অবস্থায় কার্বনকে হীরক, গ্রাফাইট এবং কয়লা হিসাবে খনি থেকে পাওয়া যায়। তাছাড়াও প্রকৃতিতে যুক্ত অবস্থায় কার্বন ডাইঅক্সাইড, কার্বনেট, কার্বোহাইড্রেট প্রভৃতি যৌগে কার্বনের উপস্থিতি উল্লেখযোগ্য।

প্রকৃতিতে কার্বনের দুইরকম অণুর পরিচয় পাওয়া যায়। একই মৌল যখন বিভিন্ন রকমের অণু হিসাবে বর্তমান থাকে তখন বিভিন্ন অণুগুলিকে **রূপভেদ** (Allotrope) এবং বিভিন্ন রকমের অণু হিসাবে থাকার ধর্মটিকে **বহুরূপতা** (Allotropism) বলে।

একই মৌলের বিভিন্ন অণুর পারমাণবিকতা আলাদা হলে বহুরূপতা ধর্মটি প্রকাশ পায়। যেমন, অক্সিজেন (পারমাণবিকতা দুই) এবং ওজোন (পারমাণবিকতা তিন)। আবার, মৌলের পরমাণুগুলি বিভিন্ন রকম আণবিক গঠনে সজ্জিত থাকলেও বহুরূপতা ধর্মটি প্রকাশ পায়। যেমন, হীরক এবং গ্রাফাইট হল কার্বনের দুইটি ভিন্ন ভিন্ন স্ফটিকাকারবিশিষ্ট আণবিক অবস্থা।

আণবিক গঠনের উপর পদার্থের ধর্ম নির্ভর করে। একই মৌলের রূপভেদগুলির আণবিক গঠন আলাদা বলে রূপভেদগুলির ভৌতধর্ম, কিছু কিছু রাসায়নিক ধর্ম এবং অন্তর্নিহিত শক্তি (Internal energy) আলাদা হয়।

কার্বনের বহুরূপতা: কার্বনের দুইটি রূপভেদ দেখা যায়: (i) হীরক ও (ii) গ্রাফাইট। কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত প্রাণীজ অঙ্গার (Animal charcoal), উদ্ভিজ অঙ্গার (Wood and sugar charcoal), ভুসা (Lamp black), কোক (Coke) ইত্যাদি পদার্থগুলিকে কার্বনের অনিয়তাকার রূপভেদ বলা প্রচলিত ছিল। এক্স-রশ্মির দ্বারা পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, এইগুলি প্রকৃতপক্ষে অতিসূক্ষ্ম গ্রাফাইট কণা ; অসমসত্ত্বভাবে থাকে বলে অনিয়তাকার মনে হয়। যাই হোক নীচে হীরক, গ্রাফাইট ও কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত পদার্থগুলির সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হল।

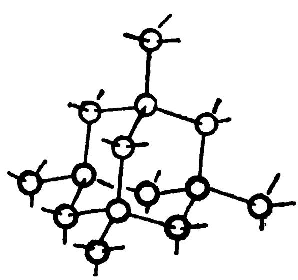
হীরক (Diamond) ঃ প্রাপ্তি ঃ ভারতের গোলকোণ্ডায়, দক্ষিণ আফ্রিকা, ব্রাজিলে এবং উরালের পার্বত্য অঞ্চলে হীরক পাওয়া যায়।

ধর্ম ঃ হীরক একটি স্বচ্ছ ও অত্যন্ত কঠিন পদার্থ। সাধারণতঃ লালাভ, সবুজাভ বা নীলাভ রঙের হীরক হয়ে থাকে। অবশ্য কালো রঙের একধরনের অস্বচ্ছ হীরক পাওয়া যায়। এটি তাপ ও তড়িতের অপরিবাহী। বিশুদ্ধ হীরক এক্স-রশ্মির সাপেক্ষে স্বচ্ছ। নকল হীরকের মধ্যে এক্স-রশ্মিপ্রতিসৃত হতে পারে না। গলিত লোহায় হীরক দ্রবীভূত হয়। হীরকের আপেক্ষিক গুরুত্ব হল 3·52।

হীরক রাসায়নিক বিক্রিয়ার দিক থেকে অত্যন্ত নিষ্ক্রিয়। অ্যাসিড, ক্ষার, পটাসিয়াম ক্লোরেট বা ক্লোরিনের সঙ্গে কোনো অবস্থাতেই হীরক বিক্রিয়া করে না। বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে 900°C উষ্ণতায় এটি বিক্রিয়া করে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। ফ্লোরিন গ্যাসও হীরকের সঙ্গে 700°C উষ্ণতায় বিক্রিয়া ঘটায় এবং CF_4 উৎপন্ন পরে।

প্রস্তুতি ঃ ফরাসী বিজ্ঞানী ময়সাঁ (Moissan ; 1893) সর্বপ্রথম কৃত্রিমভাবে হীরক প্রস্তুত করেন। তিনি একটি কাঠকয়লার টুকরো লোহার সঙ্গে মিশিয়ে বিদ্যুৎ-চুল্লীর সাহায্যে উত্তপ্ত করেন। উত্তাপে লোহা গলে যায় এবং কাঠকয়লা ঐ গলিত লোহায় দ্রবীভূত হয়। তারপর তিনি হঠাৎ এই মিশ্রণকে 3500°C উষ্ণতা থেকে জলে ডুবিয়ে ঠাণ্ডা করেন। এতে তিনি খুব কম পরিমাণে হীরকের অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। ময়সাঁর মতে ঠাণ্ডা করার ফলে গলিত লোহা জমাট বাঁধার সময় কাঠকয়লায় যে চাপ প্রদান করে সেই উচ্চ চাপে এবং উচ্চ উষ্ণতায় কাঠকয়লা হীরকে রূপান্তরিত হয়। পরবর্তী কালে আরও বিজ্ঞানী কৃত্রিম হীরক তৈরী করতে সক্ষম হয়েছেন।

গঠন (Structure) ঃ X—রশ্মির সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে যে, হীরকের স্ফটিকে কার্বন পরমাণুগুলি নিম্নলিখিত ভাবে সজ্জিত থাকে ঃ একটি নিয়মিত চতুস্তলকের (Regular tetrahedron) কেন্দ্রে একটি কার্বন পরমাণু থাকে আর চতুস্তলকের চারটি শীর্ষে থাকে চারটি কার্বন পরমাণু। কেন্দ্রীয় পরমাণুর সঙ্গে শীর্ষে অবস্থিত পরমাণুগুলি



12. 1. 1নং চিত্র

যুক্ত। শীর্ষে অবস্থিত এক একটি পরমাণু আবার অন্য চতুস্তলকের কেন্দ্রীয় পরমাণু হিসাবে কাজ করে। এই ভাবে একটি চতুস্তলকের সঙ্গে অপর চতুস্তলক জুড়ে জুড়ে তৈরী করে জটিল গঠন) 12.1.1 নং চিত্র)।

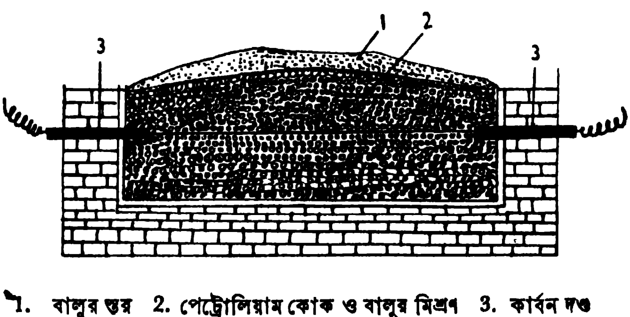
হীরকের এই জটিল গঠনের জন্যই এটি এত কঠিন, এর গলনাঙ্ক এত উচ্চ এবং এখানে কার্বন পরমাণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ জনিত বল এত বেশী যে, এটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার দিক থেকে নিষ্ক্রিয়। কারণ রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটতে গেলে এই বল অতিক্রম করে পরমাণু গুলির বিচ্ছিন্ন হওয়া প্রয়োজন। অত্যধিক বলের জন্য তা হতে পারে না।

গ্রাফাইট ঃ শ্রীলঙ্কা, সাইবেরিয়া, ক্যালিফোর্নিয়া, ইত্যাদি স্থানে কার্বনের এই স্ফটিকাকার রূপভেদের সন্ধান পাওয়া যায়।

ধর্ম ঃ গ্রাফাইট ধূসর বর্ণের নরম ও অস্বচ্ছ পদার্থ এবং এতে ধাতব দ্যুতি আছে। এটির আঃ গুঃ 2·25। এটি তাপও তড়িতের পরিবাহী।

গ্রাফাইট রাসায়নিক বিক্রিয়ায় হীরকের চেয়ে বেশী সক্রিয়; বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে 700°C-এ বিক্রিয়ায় CO_2 উৎপন্ন করে এবং ফ্লোরিনের সঙ্গে 500°C-এ CF_4 উৎপন্ন করে। গলিত সোডিয়াম কার্বনেট গ্রাফাইটকে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করে।

প্রস্তুতি ঃ অগ্নিসহা মৃত্তিকা নির্মিত চুল্লীতে (12. 1. 2 নং চিত্র) বালু ও পেট্রোলিয়াম কোকের মিশ্রণ রাখা হয়। মিশ্রণের উপরিতল বালু



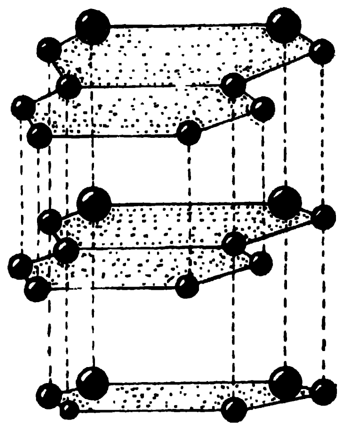
1. বালুর স্তর 2. পেট্রোলিয়াম কোক ও বালুর মিশ্রণ 3. কার্বন দণ্ড
12. 1. 2নং চিত্র

দ্বারা আবৃত করে দেওয়া হয়। দুইটি C-দণ্ড মিশ্রণের মধ্যে প্রবেশ করিয়ে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করা হয়। এতে প্রায় 2500°C থেকে 3000°C উষ্ণতার সৃষ্টি হয়। এই উষ্ণতায় পেট্রোলিয়াম কোক গ্রাফাইটে রূপান্তরিত হয়।

$$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO$$

$$SiC = Si + C \text{ (গ্রাফাইট)}$$

গঠন : গ্রাফাইটে একটি কার্বন পরমাণু একই তলে অবস্থিত তিনটি নিকটবর্তী পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় (হীরকের ক্ষেত্রে চারটি)। এরূপ 6টি পরমাণু মিলে তৈরী করে একটি নিয়মিত ষড়ভুজ (Regular hexagon) এবং এরূপ ষড়ভুজ পরস্পর জুড়ে তৈরী করে একটি প্লেট। এই প্লেটগুলি স্তরে স্তরে অবস্থিত থেকে তৈরী করে গ্রাফাইটের গঠন (12.1.3 নং চিত্র)। এই প্লেটগুলির মধ্যে আকর্ষণ জনিত বল এত দুর্বল যে সামান্য যান্ত্রিক শক্তির প্রয়োগে একটির উপর আরেকটি পিছলিয়ে যেতে পারে।



12. 1. 3নং চি

অঙ্গার (Charcoal) : উৎসের উপর নির্ভর করে বিভিন্ন প্রকারের অঙ্গার হয়ে থাকে।

প্রাণীজ অঙ্গার : হাড়, রক্ত, হস্তীদন্ত ইত্যাদি পদার্থগুলিকে যদি একটি আবদ্ধ বকযন্ত্রে নিয়ে অন্তর্ধূম পাতন ঘটানো যায় তবে অবশেষরূপে বকযন্ত্রে এ জাতীয় অঙ্গার পড়ে থাকে। আর উদ্বায়ী পদার্থসমূহ পাতিত হয়ে যায়।

উদ্ভিজ অঙ্গার : কাঠ, সেলুলোজ, চিনি ইত্যাদির অন্তর্ধূম পাতনের ফলে এজাতীয় অঙ্গার উৎপন্ন হয়। একটি আয়রন রিটর্টে কাঠের অন্তর্ধূম পাতন ঘটালে প্রথমতঃ উৎপন্ন হয় উড্‌গ্যাস, অতঃপর উদ্বায়ী উড্‌টার এবং পাইরোলিগ্‌নীয়াস অ্যাসিড। এসব পদার্থ চলে যাওয়ার পর রিটর্টে অবশেষরূপে যে কঠিন পদার্থ থাকে তাতে প্রায় 25% কাঠ কয়লা বর্তমান থাকে।

বিশুদ্ধ চিনির অন্তর্ধূম পাতনে যে চারকোল উৎপন্ন হয় তাকে বলে **সুগারচারকোল**। অন্তর্ধূম পাতনের পর কঠিন অবশেষকে 1000°C-এ ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে ও পরে জলে ধৌত করে উৎপন্ন করা হয় এজাতীয় চারকোল। সুগার চারকোল বিশুদ্ধতম কার্বন।

চারকোলের ধর্ম : এটি কালো, নরম, সচ্ছিদ্র, তাপ ও বিদ্যুতের কুপরিবাহী পদার্থ; আঃ গুঃ 1·4 থেকে 1·9। সচ্ছিদ্রতার জন্য গ্যাসীয় পদার্থকে এটি শোষন করে নেয়।

চারকোল জলে অদ্রবনীয়, ক্ষার ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে বিক্রিয়াহীন; গরম H_2SO_4 ও HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় CO_2-এ রূপান্তরিত হয়।

$$C+2H_2SO_4=CO_2+2SO_2+2H_2O$$

$$C+4HNO_3=CO_2+4NO_2+2H_2O.$$

অক্সিজেনের সঙ্গে 400°C উষ্ণতায়ও চারকোল CO_2 উৎপন্ন করে এবং স্বতঃস্ফূর্তভাবে ফ্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় CF_4 তৈরী করে।

$$C+2F_2=CF_4 \quad C+O_2=CO_2$$

বিজারণ ধর্ম ঃ কপার, লেড, আয়রন, জিঙ্ক এবং টিন অক্সাইডকে চারকোল বিজারিত করে ধাতুতে পরিণত করে।

$$PbO+C=CO+Pb$$

লাল তপ্ত চারকোল জলীয় বাষ্পকে হাইড্রোজেনে এবং কার্বন ডাই-অক্সাইডকে কার্বন মনোক্সাইডে বিজারিত করে।

$$H_2O+C=H_2+CO \quad CO_2+C=2CO$$

ভুসা ঃ যে-সকল পদার্থে কার্বনের পরিমান অন্যান্য উপাদানের তুলনায় বেশী সে-সকল পদার্থকে নিয়ন্ত্রিত অক্সিজেনে পোড়ালে যে ধোঁয়া তৈরী হয় তাকে কোনোস্থানে জমতে দিলে যে কালি তৈরী হয় তাই ভুসা। কেরোসিন, আলকাতরা, তার্পিন তেল, ইত্যাদি থেকে এজাতীয় কার্বন তৈরী হয়। সরষের তেলের প্রদীপ থেকে যে কাজল তৈরী হয় তাও ভুসা।

ধর্ম ঃ ভুসায় সাধারণতঃ 98·6% কার্বন এবং 1·4% হাইড্রোজেন থাকে। ভুসা তাপ ও বিদ্যুতের কুপরিবাহী।

কার্বন ব্ল্যাক ঃ প্রাকৃতিক গ্যাস, যাতে প্রধানতঃ মিথেন থাকে তাকে নিয়ন্ত্রিত অক্সিজেনে দহন ঘটালে কার্বন ব্ল্যাক তৈরী হয়।

$$CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$$

$$CH_4=C+2H_2$$

গ্যাস কার্বন ঃ কয়লার অন্তর্ধূম পাতনের কালে গ্যাস কার্বন তৈরী হয়।

ধর্ম ঃ গ্যাস কার্বন কঠিন, ধূসর কালো, আ ঃ গু ঃ 2·35, বিদ্যুতের সুপরিবাহী।

কোক ঃ কয়লাকে হয় 1200° – 1400°C নয় 600° – 650°C-এ অন্তর্ধূম পাতন ঘটালে গ্যাসীয় ও উদ্বায়ী তরল পদার্থ দূরীভূত হয় এবং অবশেষ রূপে থাকে কোক।

ধর্ম ঃ কোক কঠিন, তাপ ও বিদ্যুতের কুপরিবাহী পদার্থ। এর বিজারণ ধর্ম বর্তমান।

কার্বনের ব্যবহার ঃ (i) রত্ন হিসাবে হীরকের ব্যবহার সর্বজনবিদিত। হীরকের ওজন ক্যারেট নামক এক প্রকার এককে নির্ণিত হয়। (1 ক্যারেট = 0·2g)। ক্যারেট অনুযায়ী হীরকের মূল্য স্থির হয়। (ii) কাঠিন্যের জন্য কাঁচ-কাটা, শিলাকে ছিদ্র করা ইত্যাদি কাজে এটি ব্যবহৃত হয়। অবশ্য এসব কাজে অস্বচ্ছ কালো হীরক ব্যবহৃত হয়। (iii) পেনসিলের সীস তৈরী করতে ব্যবহৃত হয় গ্রাফাইট। (iv) গুঁড়ো-করা গ্রাফাইট তেল বা জলের সঙ্গে মিশিয়ে পিচ্ছিল-কারক (Lubricant) হিসাবে যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়। (v) গ্রাফাইটের দণ্ড বিদ্যুৎ-দ্বাররূপে ব্যবহৃত হয়। (vi) গ্রাফাইট ও মাটির মিশ্রণ দিয়ে তৈরী হয় অগ্নিসহ। ক্রুসিবল। (vii) পারমাণবিক চুল্লীতে বিক্রিয়ার গতিমন্থর (Moderate) করতে এটি ব্যবহৃত হয়। (viii) উডচারকোল জ্বালানী হিসাবে এবং বিজারক হিসাবে বহুল ব্যবহৃত হয়। (ix) বারুদ তৈরীতেও এটির প্রয়োজন। (x) প্রাণীজ অঙ্গার প্রধাণতঃ ব্যবহৃত হয় চিনি শিল্পে। অশুদ্ধ চিনিকে বর্ণমুক্ত করার জন্য এটির প্রয়োজন। (xi) হস্তীদন্ত থেকে উৎপন্ন অঙ্গার একটি ভালো রং (xii) দুর্গন্ধযুক্ত কোনো গ্যাস দূর করার জন্য চারকোল ব্যবহৃত হয়। (xiii) বিদ্যুৎ-দ্বার তৈরী করার জন্য গ্যাস কার্বন ব্যবহৃত হয়। (xiv) ভুসা রাবার শিল্পে প্রচুর পরিমাণে প্রয়োজন হয়। এছাড়া রং তৈরীতেও এটি ব্যবহৃত হয়।

12.2 ফসফরাস (Phosphorus ; P)

সূচনা ঃ জার্মান বিজ্ঞানী ব্রাণ্ড (Brand, 1674-75) মূত্রকে উত্তাপে গাঢ় করে বালি ও অঙ্গার সহযোগে পাতিত করে এই মৌলিক পদার্থটি সর্বপ্রথম তৈরী করেন। এটি স্বয়ংপ্রভ এবং অন্ধকারে আলোক বিকীরণ করে বলেই এর নামকরণ করা হয় ফসফরাস। মুক্ত অবস্থায় এটি প্রকৃতিতে থাকে না। যৌগ হিসাবে এটি উদ্ভিদ ও প্রাণীজগতে এবং ক্যালসিয়াম ফসফেট হিসাবে বহু খনিজ পদার্থে বর্তমান।

প্রস্তুতি ঃ অস্থিভস্ম (Bone ash) থেকে মৌলিক পদার্থ ফসফরাস প্রস্তুত করা হয়। প্রস্তুত প্রণালী দুইটি স্তরে বিভক্ত।

প্রথম স্তরে কাঁচা অস্থি থেকে অস্থিভস্ম এবং দ্বিতীয় স্তরে অস্থিভস্মের বিজারণ দ্বারা মৌলিক ফসফরাস প্রস্তুত করা হয়।

অস্থিভস্ম প্রস্তুত প্রণালী ঃ কাঁচা অস্থিতে থাকে প্রধাণতঃ

$Ca_3(PO_4)_2$, কিছু প্রোটিন, কিছু স্নেহ পদার্থ ইত্যাদি। প্রথমে গরম জলে প্রাণী-অস্থি ধোয়া হয়। পরে তাকে কার্বন-ডাই-সালফাইডে ভিজিয়ে জৈব পদার্থ থেকে মুক্ত করা হয়। এবার একটি লোহার রিটর্টে অন্তর্ধূম পাতন করে বোন্ চারকোলে (Bone charcoal) রূপান্তরিত করা হয়। এই অঙ্গারকে পরে বায়ুতে তীব্র উত্তাপ দিলে তা অস্থিভস্মে পরিণত হয়।

অস্থিভস্ম থেকে ফসফরাস প্রস্তুত প্রণালীঃ (i) রিটর্ট প্রণালীঃ প্রথমে অস্থিভস্মকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করানো হয়। বিক্রিয়ায় ক্যালসিয়াম সালফেট ও ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$Ca_3(PO_4)_2+3H_2SO_4=3CaSO_4+2H_3PO_4.$$

ক্যালসিয়াম সালফেট অদ্রবনীয় বলে পরিস্রাবণ দ্বারা ক্যালসিয়াম সালফেট পৃথক করা হয়। এবার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ফসফরিক অ্যাসিডের দ্রবণকে উত্তাপে গাঢ় করে তাতে গুঁড়ো কোক যোগ করে লোহার পাত্রে রেখে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে ফসফরিক অ্যাসিড মেটাফসফরিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়।

$$H_3PO_4=HPO_3+H_2O.$$

এই মেটাফসফরিক অ্যাসিডকে কার্বন ও সিলিকা সহযোগে অগ্নিসহা-মৃত্তিকা নির্মিত রিটর্টে পাতিত করা হয়। ফলে বিজারণ ঘটে এবং ফসফরাস পাতিত হয়।

$$4HPO_3+12C=2H_2+12CO+4P$$

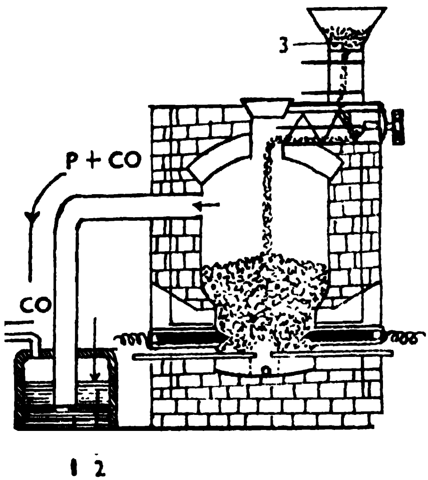
(ii) **বিদ্যুৎ-চুল্লী প্রণালীঃ** চুল্লীটি (12.2.1 নং চিত্র) অগ্নিসহা মৃত্তিকা নির্মিত হয়। এতে থাকে দুইটি নির্গম নল—একটি উপরে, তা দিয়ে বেরিয়ে আসে উত্তপ্ত গ্যাস ; অপরটি নীচে, তা দিয়ে বেরিয়ে আসে স্ল্যাগ্ বা অপদ্রব্য। অস্থিভস্ম বা খনিজ ফসফেট, কোক ও বালির মিশ্রণ চুল্লীর ভিতরে ঢালা হয়। এই মিশ্রণকে বলে চার্জ। নীচের দিকে অনুভূমিকভাবে চার্জের মধ্যে প্রবিষ্ট থাকে দুইটি কার্বন দণ্ড যার সাহায্যে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। এতে প্রায় 1500°C উষ্ণতার সৃষ্টি হয়। প্রথমে সিলিকা $Ca_3(PO_4)_2$ থেকে অধিকতর আম্লিক অক্সাইড P_2O_5-কে প্রতিস্থাপিত করে তৈরী করে ক্যালসিয়াম সিলিকেট এবং এটিই হচ্ছে স্ল্যাগ।

$$Ca_3(PO_4)_2+3\ SiO_2\ (1150°C)=3CaSiO_3+P_2O_5.$$

এই P_2O_5 প্রায় 1500°C উষ্ণতায় কোক কর্তৃক বিজারিত হয়ে উৎপন্ন করে ফসফরাস।

$$2P_2O_5 + 10C = P_4 + 10CO$$

ফসফরাসের বাষ্প ও কার্বন মনোক্সাইড উপরের নির্গম নল দ্বারা জলপূর্ণ একটি পাত্রে প্রবেশ করে। ঠাণ্ডায় ফসফরাস কঠিনরূপে পাত্রে সঞ্চিত হয়



1. ফসফরাস 2. জল 3. বালু, কোক ও অস্থিভস্মের মিশ্রণ

12. 2. 1নং চিত্র

এবং কার্বন মনোক্সাইড একটি পার্শ্ব নলের দ্বারা বেরিয়ে যায়। এইভাবে যে ফসফরাস উৎপন্ন হয় তা শ্বেত ফসফরাস।

বিশুদ্ধি করণ ঃ অবিশুদ্ধ ফসফরাসকে গরম জলে রেখে গলানো হয়। ফলে বালি পৃথক হয়ে যায় এবং কিছু অপদ্রব্য সরের মত ভেসে ওঠে। এতে এখন পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ও গাঢ় H_2SO_4 যোগ করা হয় যাতে বেশ কিছু অপদ্রব্য জারিত হয়ে জলীয় দ্রবণে চলে যায়। বিশুদ্ধ শ্বেত ফসফরাসকে সরঃময় চর্ম দিয়ে পরিসৃত করা হয়।

ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ সাদা ফসফরাস (হলুদ ফসফরাসও বলা হয়) স্বচ্ছ, মোমের মতো নরম এবং এটি নিয়তাকার। জলে খুব কম পরিমাণে দ্রবীভূত হয়। কার্বন ডাইসালফাইড, ইথার, অলিভ অয়েল, বেঞ্জিন, অ্যালকোহল প্রভৃতি দ্রাবকে এটি প্রভূত পরিমাণে দ্রবীভূত হয়। সাদা ফসফরাস তাপ ও বিদ্যুতের অপরিবাহী। এটি অত্যন্ত বিষাক্ত; মাত্র

0·15g ফসফরাস মৃত্যু ঘটাতে সক্ষম। সাধারণ উষ্ণতায় এটি কঠিন, গলনাংক 43°C এবং স্ফুটনাংক 280°C। কার্বনের মতো ফসফরাসও বহুরূপতা প্রদর্শন করে।

রাসায়নিক ধর্ম: (i) 30°C-এর অধিক উষ্ণতায় ও বায়ুর সংস্পর্শে এটি দাহ্য। এইজন্য সাদা ফসফরাস সর্বদা জলে ডুবিয়ে রাখা হয়। দহনের ফলে ফসফরাস উৎপন্ন করে ফসফরাস পেণ্টক্সাইড।

$$4P+5O_2=2P_2O_5$$

(ii) হ্যালোজেন মৌল সমূহের (F, Cl, Br, I,) সংস্পর্শে ফসফরাস স্বতঃস্ফূর্তভাবে জ্বলে ওঠে। এটি ফসফরাসের বিজারণ ক্রিয়ার উদাহরণ।

$$P_4+6Cl_2=4PCl_3$$

$$P_4+10Cl_2=4PCl_5$$

(iii) উত্তপ্ত ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সাদা ফসফরাস ফসফিন গ্যাস ও সোডিয়াম হাইপোফসফাইট তৈরী করে।

$$P_4+3NaOH+3H_2O=PH_3+3NaH_2PO_2$$

(iv) গাঢ় এবং উত্তপ্ত নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা এটি ফসফরিক অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$P_4+10HNO_3+H_2O=4H_3PO_4+5NO+5NO_2$$

(v) ঠাণ্ডা কপার সালফেটের সঙ্গে এটি বিক্রিয়া করে। কপার-সালফেট দ্রবণ থেকে কিউপ্রিক আয়ন বিজারিত হয়ে ধাতব কপারে রূপান্তরিত হয়; ফসফরাস নিজে ফসফরিক অ্যাসিডে জারিত হয়।

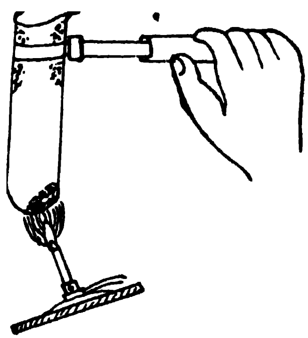
$$5CuSO_4+2P+8H_2O=5Cu+2H_3PO_4+5H_2SO_4$$

ফসফরাসের বহুরূপতা (Allotropy of phosphorus): সাদা এবং লাল—ফসফরাসের দুইটি প্রধান রূপভেদ হলেও ফসফরাসের আরও রূপভেদ আছে। যেমন—(i) আলফা সাদা ফসফরাস (α-White phosphorus), (ii) বিটা সাদা ফসফরাস (β-White phosphorus), (iii) স্কারলেট ফসফরাস (Scarlet), (iv) আলফা কালোফসফরাস (α-Black phosphorus), (v) বিটা কালো ফসফরাস (β-Black phophorus) এবং বেগুনী ফসফরাস (violet phosphorus)।

লাল ফসফরাস (Red phosphorus): সাধারণ উষ্ণতায় সাদা ফসফরাস ধীরে ধীরে লাল ফসফরাসে রূপান্তরিত হয়। রূপান্তরটি তাপোৎপাদক। P (সাদা)=P (লাল)+4,200 ক্যালোরি।

সাদা ফসফরাসকে নিঃশব্দ বিদ্যুৎ-পাত দ্বারা বা 250°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে লাল ফসফরাসে রূপান্তরিত করা যায়। বায়ুনিরুদ্ধ ঢাকনি যুক্ত একটি ঢালাই লোহার পাত্রে সাদা ফসফরাস লওয়া হয়। ঢাকনির মধ্যে একটি ছিদ্র থাকে। এই ছিদ্র পথে প্রবেশ করানো হয় দুই মুখ খোলা টিউব। এর ফলে পাত্রের ভিতরের চাপ সর্বদা বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান থাকে। পাত্রটিকে 250°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। উত্তাপে সাদা ফসফরাস লাল ফসফরাসে রূপান্তরিত হয়। সব সময়েই কিছুটা ফসফরাস অক্সাইডে রূপান্তরিত হয়। উৎপন্ন লাল ফসফরাসকে ঠাণ্ডা করে কষ্টিক সোডার সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটানো হয়। ফলে অপরিবর্তিত সাদা ফসফরাস দূরীভূত হয়। পরিস্রাবণ দ্বারা এইবার লাল ফসফরাসকে পৃথক করে বারবার গরম জলে ধুয়ে জলীয় বাষ্প দ্বারা শুষ্ক করা হয়।

ধর্ম ঃ এই ভাবে প্রস্তুত লাল ফসফরাসের বর্ণ বেগুনী-লাল। এটি বিষাক্ত নয়। মৃদু বিদ্যুৎ বহনে এটি সক্ষম। বর্ধিত চাপে এটি 592·5°C উষ্ণতায় গলে। উত্তাপ দিলে লাল ফসফরাস সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয় এবং বাষ্পটি সাদা ফসফরাসরূপে সঞ্চিত হয় (12.2.2 নং চিত্র)। সাদা ফসফরাসের তুলনায় লাল ফসফরাস অনেক কম সক্রিয়। 24°C উষ্ণতার নীচে এটি জ্বলে না। ক্লোরিন গ্যাসে স্বতঃস্ফূর্তভাবে এটি জ্বলে ওঠে না। উত্তপ্ত অবস্থায়ই কেবল বিক্রিয়া ঘটে। ক্ষারের সঙ্গে এটি বিক্রিয়াহীন। গাঢ় HNO_3-এ এটি দ্রবীভূত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। উত্তপ্ত অবস্থায় বিক্রিয়া দ্রুততর হয়।



12. 2. 2নং চিত্র

ফসফরাসের কিছু রূপভেদ এবং তাদের কিছু বৈশিষ্ট্য

রূপভেদ	গঠন	বৈশিষ্ট্য
β-সাদা ফসফরাস	নিয়তাকার	-80°C উষ্ণতার-নীচে স্থায়ী হয়। ঐ উষ্ণতার উপরে অস্থায়ী —
α-সাদা	নিয়তাকার	বায়ুর সংস্পর্শে আসা মাত্র জ্বলে ওঠে,

রূপভেদ	গঠন	বৈশিষ্ট্য
ফসফরাস		অত্যন্ত বিষাক্ত ; কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রবনীয়।
লাল ফসফরাস	অনিয়তাকার	240°C উষ্ণতার নীচে বায়ুর সংস্পর্শে জ্বলেনা। CS_2-এ প্রায় অদ্রবনীয় ; খুব বিষাক্ত নয়।
স্কারলেট ফসফরাস	অনিয়তাকার	লাল ফসফরাসের মতো।
বেগুণী ফসফরাস	অনিয়তাকার	সবচেয়ে স্থায়ী রূপভেদ।
কালো ফসফরাস	গ্রাফাইটের ন্যায়	গ্রাফাইটের ন্যায় বিদ্যুৎ পরিবহনে সক্ষম।

ব্যবহার: (i) ফসফরাস ঘটিত বিভিন্ন প্রয়োজনীয় জিনিস তৈরী করতে ফসফরাস প্রয়োজন। সাদা ফসফরাসকে ক্যালসিয়াম হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে উৎপন্ন হয় ক্যালসিয়াম হাইপোফসফাইট, $Ca(H_2PO_2)_2$, যা স্নায়ুরোগের টনিক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। সাদাফসফরাসকে বায়ুতে দহন করে তৈরী হয় ফসফরাস পেণ্টক্সাইড। এটি জলাকর্ষীরূপে এবং ফসফরিক অ্যাসিড তৈরীতে বহুল ব্যবহৃত হয়। কপার, টিন এবং ফসফরাস ওজন হিসাবে 93 : 6 : 1 অনুপাতে মিশিয়ে তৈরী করা হয় ফসফার ব্রোঞ্জ নামে ধাতু সংকর। বিয়ারিং, ভাল্ব, তার ইত্যাদি তৈরীতে এই ধাতু সংকর ব্যবহৃত হয়। (ii) বর্তমান দেশলাই শিল্পে লাল ফসফরাস বহুল ব্যবহৃত হয়। হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড তৈরীতে এবং বহু জৈব পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় লাল ফসফরাস ব্যবহৃত হয়। (iii) ইঁদুর মারা বিষ হিসাবেও সাদা ফসফরাস ব্যবহৃত হয়। লুসিকার দেশলাই তৈরীতে সাদা ফসফরাস ব্যবহার করা হয়। (iv) বিশেষ ধরণের দেশলাই তৈরীর জন্য স্কারলেট ফসফরাস ব্যবহার করা হয়।

ফসফরাসের সনাক্তকরণ: (i) সাদা ফসফরাস ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফসফিন গ্যাস উৎপন্ন করে। পচা মাছের গন্ধের ন্যায় গন্ধ থেকে গ্যাসটিকে সহজেই চেনা যায়। (ii) ফসফরাসকে গাঢ় HNO_3 দ্বারা উত্তপ্ত করলে তা জারিত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়। এবার তাতে অ্যামোনিয়াম মলিবডেট দ্রবণ যোগ করলে হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ তৈরী হয়। (iii) ফসফরাসকে পূর্বের ন্যায় HNO_3 দ্বারা উত্তপ্ত করে

তাতে অতিরিক্ত অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড যোগ করে ম্যাগনেসিয়া মিক্সচার ঢাললে সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়। (ম্যাগনেসিয়া মিক্সচার হচ্ছে ম্যাগনেসিয়াম ক্লোরাইড ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের সঙ্গে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডের মিশ্রণ)

12.3 গন্ধক (Sulphur ; S)

সূচনাঃ অতিপ্রাচীন কাল থেকেই গন্ধকের ব্যবহার জানা ছিল। ফরাসী-বিজ্ঞানী ল্যাভয়সিয়ে সর্ব্বপ্রথম আবিস্কার করেন যে, গন্ধক একটি মৌলিক পদার্থ। প্রকৃতিতে সালফার মৌল এবং যৌগ উভয়ভাবেই থাকে। মুক্ত সালফার পাওয়া যায় আগ্নেয়গিরি অঞ্চলে। যৌগাবস্থায় ধাতব সালফেট ও সালফাইডরূপে সালফার পাওয়া যায়।

প্রস্তুতিঃ (i) কয়লায় সামান্য পরিমাণ সালফার আছে। কয়লার অন্তর্ধূম পাতনের সময় এই সালফার হাইড্রোজেন সালফাইডে রূপান্তরিত হয়। এই গ্যাসীয় H_2S-কে সোদক আয়রন অক্সাইড দ্বারা শোষণ করা হয়। তাতে উৎপন্ন হয় ফেরিক সালফাইড যা বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় মৌলিক সালফার উৎপন্ন করে।

$$2Fe(OH)_3+3H_2S=Fe_2S_3+6H_2O$$

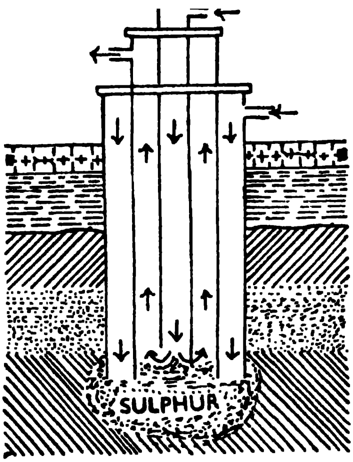
$$2Fe_2S_3+3O_2+6H_2O=4Fe(OH)_3+6S$$

(ii) লেব্লাংক পদ্ধতিতে সোডিয়াম কার্বনেট উৎপাদন কালে উপজাত হিসাবে তৈরী হয় ক্যালসিয়াম সালফাইড। এই CaS-কে জলে ভাসমান অবস্থায় রেখে তাতে CO_2 চালনা করলে $CaCO_3$ ও H_2S উৎপন্ন হয়। H_2S-কে নিয়ন্ত্রিত পরিমাণ অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করতে দিলে সালফার উৎপন্ন হয়।

$$CaS+CO_2+H_2O=CaCO_3+H_2S\ ;\ 2H_2S+O_2=2H_2O+2S$$

(iii) আমেরিকার লুইসিয়ানা অঞ্চলে ভূপৃষ্ঠের প্রায় 500—800 ফুট নীচে মৌল অবস্থায় সালফার সঞ্চিত হয়ে আছে। এই সালফার কঠিন অবস্থায় ভূগর্ভে আছে। ফ্রাশ্ (Frasch) পদ্ধতিতে তা তুলে আনা হয়। তুলে আনার পদ্ধতিটি নীচে বলা হচ্ছে। প্রথমে মাটি খুঁড়ে পার্শ্বনল যুক্ত একটি নল প্রবেশ করানো হয় যাতে নলের এক প্রান্ত (যে প্রান্তে পার্শ্বনল আছে) ভূপৃষ্ঠের উপরে থাকে এবং অপর প্রান্ত উৎস পর্যন্ত পৌঁছায়। এখন সমাক্ষ বিশিষ্ট (Coaxial) আরও দুইটি বর্ধিত ব্যাসের নল পূর্ব নলকে কেন্দ্রকরে প্রবেশ করানো হয়। প্রতিটি নলের সঙ্গে একটি করে পার্শ্বনল

যুক্ত আছে (12.3.1 নং চিত্র)। সবচেয়ে মোটা নলের পার্শ্বনল দিয়ে প্রবেশ করানো হয় 180°C-এ অত্যুতপ্ত (superheated) জল এবং সবচেয়ে সরু নলের পার্শ্বনল দিয়ে উচ্চচাপে বায়ু প্রবেশ করানো হয়। 180°C-এর জল যে মুহূর্তে উৎসে গিয়ে পড়ে সেমুহূর্তে সালফার গলে যায়। তখন সবচেয়ে সরু নল দিয়ে প্রবিষ্ট বায়ুর চাপে মাঝখানের নল দিয়ে গলিত সালফার উপরে উঠে আসে। এই সালফার প্রায় 99·5—99·9% বিশুদ্ধ।



12. 3. 1নং চিত্র

ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ সালফার হলুদ বর্ণের ভঙ্গুর এবং কেলাসিত একটি অধাতু। এটি অস্বচ্ছ এবং তাপ ও বিদ্যুতের অপরিবাহী। জলে সালফার অদ্রাব্য হলেও জৈব দ্রাবক যেমন, কার্বন ডাইসালফাইড, বেঞ্জিন, তার্পিন-তেল, ইত্যাদিতে সম্পূর্ণ দ্রবণীয়। এটি 444°·6C উষ্ণতায় গাঢ়লাল বর্ণের বাষ্পে পরিণত হয়। সালফার বাষ্পের পারমাণবিকতা বিভিন্ন। 800°C-এর নীচে সালফার S_8, S_4 এবং S_2-এর মিশ্রণরূপে থাকে। 800°C-এর উপরে সালফার কেবল S_2 রূপে থাকে। বাষ্পের উষ্ণতা 2000°C হলে S_2 বিয়োজিত হয়ে সালফার পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) বায়ুতে উত্তপ্ত করলে সালফার ঈষৎ নীলাভ শিখায় জ্বলে এবং দহনের ফলে উৎপন্ন হয় সালফার ডাই-অক্সাইড এবং ট্রাই-অক্সাইড। এখানে S নিজে জারিত হচ্ছে।

$$S+O_2=SO_2\ ;\quad 2S+3O_2=2SO_3$$

(ii) আয়োডিনের সঙ্গে সালফার বিক্রিয়াহীন। কিন্তু C, P, বেশীর ভাগ ধাতু, আয়োডিন ব্যতীত অন্যান্য হ্যালোজেন মৌল এবং হাইড্রোজেন সালফারের সঙ্গে যুক্ত হয়।

সালফার বাষ্প ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণ লাল-তপ্ত ঝামা পাথরের (Pumic stone-এর) উপর চালনা করলে উৎপন্ন হয় হাইড্রোজেন সালফাইড।

$$H_2+S=H_2S$$

ফ্লোরিন গ্যাসে সালফার স্বতঃস্ফূর্তভাবে জ্বলে ওঠে এবং বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় সালফার হেক্সাফ্লোরাইড। এখানে S নিজে জারিত হচ্ছে।

$$S+3F_2=SF_6$$

বিচূর্ণ সালফারের উপর ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে সালফার মনো-ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। এখানে S নিজে জারিত হচ্ছে।

$$2S+Cl_2=S_2Cl_2$$

উত্তপ্ত কার্বন সালফারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে কার্বন ডাই সালফাইড। $C+2S=CS_2$

ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় সালফার ধাতব সালফাইড উৎপন্ন করে। কপার সালফারের বাষ্পের সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে এবং এতে কপার সালফাইড উৎপন্ন হয়। সোডিয়ামের সঙ্গে সালফার সোডিয়াম সালফাইড উৎপন্ন করে।

$$Cu+S=CuS\ ;\quad 2Na+S=Na_2S$$

উপরিউক্ত বিক্রিয়া সালফারের জারণ ক্রিয়ার উদাহরণ।

(iii) গাঢ় ও উত্তপ্ত H_2SO_4 ও HNO_3-এর দ্বারা S জারিত হয়। প্রথম ক্ষেত্রে উৎপন্ন হয় SO_2 এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সালফিউরিক অ্যাসিড।

$$S+2H_2SO_4=3SO_2+2H_2O$$

$$S+6HNO_3=H_2SO_4+6NO_2+2H_2O$$

(iv) উত্তপ্ত ক্ষারের সঙ্গে বিচূর্ণ সালফার বিক্রিয়া করে। বিক্রিয়ায় প্রথমে ধাতব সালফাইড এবং থায়োসালফেট উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন সালফাইড অতিরিক্ত সালফারের সঙ্গে পুনরায় বিক্রিয়া করে পলি সালফাইড উৎপন্ন করে।

$$4S+6NaOH=2Na_2S+3H_2O+Na_2S_2O_3$$ (সোডিয়াম থায়োসালফেট)

$$Na_2S+4S=Na_2S_5$$ (সোডিয়াম পলি সালফাইড)

সালফার এবং পটাসিয়াম কার্বনেটের মিশ্রণকে উত্তাপে গলালে উৎপন্ন হয় একটি বাদামী বর্ণের পদার্থ ; তাকে বলে লিভার অব্ সালফার।

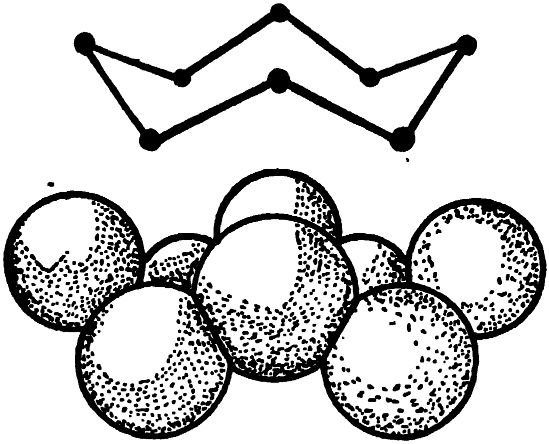
$$6S+3K_2CO_3=2K_2S_2+K_2S_2O_3+3CO_2$$

সালফারের বহুরূপতা (Allotropy of sulphur) : কার্বন ও ফসফরাসের ন্যায় সালফারও বহুরূপতা ধর্ম প্রকাশ করে। নিয়তাকার ও অনিয়তাকার দুইরূপেই সালফার প্রকৃতিতে থাকে। নিয়তাকার সালফার দুই প্রকারের হয়—(1) রম্বিক বা আলফা সালফার ও (2) মনোক্লিনিক বা বিটা সালফার।

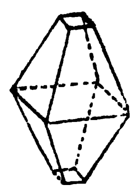
অনিয়তাকার সালফার তিন প্রকারের হয়—(1) প্লাস্টিক বা গামা সালফার, (2) মিল্ক অব্ সালফার ও (3) কলয়ডিয় সালফার।

রম্বিক সালফার (Sα) ঃ সাধারণ সালফারের কার্বন ডাইসালফাইডের দ্রবণকে ধীরে ধীরে বাষ্পীভূত করলে রম্বিক সালফার (12. 3. 3. নং চিত্র) উৎপন্ন হয়।

এজাতীয় সালফার স্বচ্ছ, হলুদাভ স্ফটিকাকারবিশিষ্ট। এটির গলনাঙ্ক 112°·8C। কার্বন ডাইসালফাইড, মনোক্লোরো সালফার, বেঞ্জিন, তার্পিন-তেল ইত্যাদিতে দ্রবীভূত হয়। বাষ্পীয় অবস্থায় এবং দ্রবণে এর সংকেত S_8।

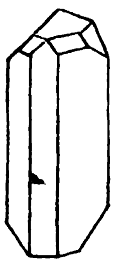


12. 3. 2নং চিত্র



12. 3. 3নং চিত্র

সাধারণ উষ্ণতায় এই রূপভেদ সবচেয়ে বেশী স্থায়ী এবং অন্যান্য রূপভেদ ধীরে ধীরে রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত হয়। এর অণুতে যে-আটটি S-পরমাণু আছে তারা নৌকার আকারে সজ্জিত থাকে (12.3.2 নং চিত্র)।



12. 3. 4নং চিত্র

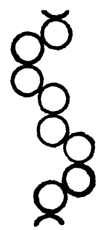
মনোক্লিনিক সালফার (Sβ) ঃ গলিত সালফারকে ধীরে ধীরে শীতল করলে মনোক্লিনিক সালফারের স্ফটিক (12. 3. 4নং চিত্র) উৎপন্ন হয়।

এটি স্বচ্ছ স্ফটিকাকারবিশিষ্ট, এবং এর গলনাঙ্ক 118·75°C। এটি কার্বন ডাই-সালফাইডে দ্রবণীয়। এই সালফার ও CS_2-এর দ্রবণকে বাষ্পীভূত করলে α-সালফারের স্ফটিক তৈরী হয়। সাধারণ উষ্ণতায় এটি অস্থায়ী এবং ধীরে ধীরে রম্বিক সালফারে

রূপান্তরিত হয়ে যায়। দেখা গেছে যে, একটি বিশেষ উষ্ণতার ঊর্ধ্বে মনোক্লিনিক সালফার হয় এবং এই উষ্ণতার নীচে এটি অস্থায়ী। এই উষ্ণতাকে বলে রূপান্তর উষ্ণতা (Transition temperature)। আলফা এবং বিটা সালফারের রূপান্তর উষ্ণতা 95°·5C। এই উষ্ণতায় এই দুই রূপভেদ স্থিতাবস্থায় (Equilibrium) থাকে এবং এর ঊর্ধ্বে $S\beta$ স্থায়ী হয় এবং নিম্নে $S\alpha$ স্থায়ী। $S\alpha \rightleftharpoons S\beta$ । মনোক্লিনিক সালফারের সংকেত S_8।

প্লাস্টিক সালফার ($S\gamma$)ঃ গলিত সালফারকে তার স্ফুটনাঙ্কের কাছাকাছি উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে যদি ক্ষীণ ধারায় ঠাণ্ডা জলে ঢালা যায় তবে এটি রাবারের ন্যায় কঠিন পদার্থে রূপান্তরিত হয়। এটিই গামা সালফার।

কার্বন ডাইসালফাইডে এটি অদ্রবণীয়। কিছুক্ষণ রেখে দিলে এটি রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত হয়ে যায়। প্লাস্টিক সালফারের পরমাণুগুলি শঙ্খিলাকারে (Spirally) সাজানো থাকে (12.3.5 নং চিত্র)। অর্থাৎ, স্ক্রুর পাকের মতো প্যাঁচালো। এই গঠনের জন্যই এর ধর্ম রাবারের মতো; টেনে লম্বা করা যায়।



12 3.5নং চিত্র

মিল্ক অব্ সালফার (Milk of sulphur)ঃ সালফার চূর্ণকে মিল্ক অব্ লাইমের সঙ্গে ফোটালে ক্যালসিয়াম পেন্টাসালফাইড উৎপন্ন হয় এবং এটি দ্রবণে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। পরিস্রাবণ করলে হলুদাভ কমলা রঙের যে পরিস্রুত পাওয়া যায় তাকে HCl-এর দ্বারা আম্লিক (acidic) করলে সাদা অনিয়তাকার মিল্ক অব্ সালফার উৎপন্ন হয়।

$$\left\{\begin{array}{l} 12S+3Ca(OH)_2=2CaS_5+CaS_2O_3+3H_2O \\ 2CaS_5+CaS_2O_3+6HCl=3CaCl_2+12S+3H_2O \end{array}\right.$$

কার্বন ডাইসালফাইডে মিল্ক অব্ সালফার দ্রবণীয়। উত্তাপে এই সালফার রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত হয়ে যায়। রম্বিক সালফারকে 120°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে যে সালফার পাওয়া যায় তার আকৃতিও এই মিল্ক অব্ সালফারের মতো। এজাতীয় সালফারকে বলে $S\gamma$।

কলয়ডীয় সালফার (Colloidal sulphur)ঃ ধাতব থায়োসালফেটকে আম্লিক করলে বা সালফার ডাইঅক্সাইডের দ্রবণের মধ্যে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে মৌলিক সালফার উৎপন্ন হয়

এবং এই সালফার সূক্ষ্ম কণার আকারে জলে ভাসমান থেকে একটি সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরী করে। এটিকেই বলে কলয়ডিয় সালফার।

$$Na_2S_2O_3+H_2SO_4=Na_2SO_4+H_2O+SO_2+S$$

$$2H_2S+SO_2=2H_2O+3S$$

সালফারের ব্যবহার: (i) সালফিউরিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে এটির ব্যবহার সর্বাধিক। (ii) রাবার শিল্পেও প্রচুর পরিমাণে সালফার ব্যবহৃত হয়। (iii) সালফোনামাইড, সালফাগুয়ানিডিন, সালফার মলম, সালফার সাবান ইত্যাদি তৈরীতে সালফার ব্যবহৃত হয়। (iv) ফসফরাস এবং সালফার ঘটিত যৌগ দেশলাই কাঠির জন্য ব্যবহৃত হয়। (v) সোডাকে সালফার চূর্ণের সঙ্গে ফোটালে উৎপন্ন হয় সোডিয়াম থায়োসালফেট। এটিকে বলে "হাইপো"। ফটোগ্রাফীর ফিল্ম ধোয়ার জন্য এই হাইপো ব্যবহৃত হয়। এছাড়া বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় হাইপো ব্যবহৃত হয়। (vi) কার্বন ও সালফারের যৌগ কার্বন ডাইসালফাইড একটি উত্তম জৈব দ্রাবক।

সালফারের সনাক্তকরণ: (i) সালফারকে বায়ুতে দহন করে উৎপন্ন গ্যাসটিকে চুনজলের মধ্যে চালনা করলে স্বচ্ছ চুন-জল ঘোলা হয়ে যায়। তার কারণ সালফারের দহনে উৎপন্ন হয় SO_2 যা চুন জলের সঙ্গে জলে অদ্রাব্য $CaSO_3$ তৈরী করে। (ii) সালফারকে গাঢ় HNO_3 এর সঙ্গে ফুটিয়ে তাতে $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ যোগ করলে $BaSO_4$-এর সাদা অধঃক্ষেপ তৈরী হয়।

12.4 হ্যালোজেন মৌলসমূহ (Elements of halogen family)

সূচনা: ফ্লোরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিন এবং অ্যাস্টাটিন এই পাঁচটি মৌলিক পদার্থকে হ্যালোজেন মৌল বলে। তার কারণ ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের সোডিয়াম লবণ (অর্থাৎ, সোডিয়াম ক্লোরাইড, সোডিয়াম ব্রোমাইড, সোডিয়াম আয়োডাইড) সমুদ্রের জলে পাওয়া যায়। সমুদ্রের জলকে সম্পূর্ণ বাষ্পীভূত করলে অবশেষের সঙ্গে এগুলি পাওয়া যায়। "হ্যালোজেন" কথাটি গ্রীক ভাষা থেকে উদ্ভূত—এর অর্থ সমুদ্রলবণ উৎপাদনকারী (Halo—sea salt ; genes—to produce) ; সমুদ্র-লবণ উৎপাদন করে বলেই ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিনকে হ্যালোজেন মৌল বলে। ফ্লোরিন ও অ্যাস্টাটিন ধর্মে উপরিউক্ত মৌলগুলির সদৃশ বলে এদেরও এই পরিবার ভুক্ত মৌল বলে গণ্য করা হয়। প্রকৃতিতে মৌল অবস্থায় হ্যালোজেন মৌলসমূহ পাওয়া যায় না। যৌগরূপেই এরা প্রকৃতিতে

বর্তমান। ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন সমুদ্রের জলে এবং খনিজ লবণরূপে পাওয়া যায়।

ক্লোরিন (Chlorine ; Cl) : শীলি সর্বপ্রথম ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড এবং মিউরি এটিক অ্যাসিডের দ্রবণকে উত্তপ্ত করে এটি তৈরী করেন। ডেভি (1810) পরবর্তীকালে প্রমাণ করেন যে, এটি একটি মৌলিক পদার্থ।

প্রস্তুতি : (1) কিছু কিছু ধাতব ক্লোরাইড উত্তাপে বিয়োজিত হয়ে ক্লোরিন গ্যাস বিমুক্ত করে।

$$PtCl_4 \xrightarrow{374C^\circ} PtCl_2 + Cl_2 \; ; \qquad PtCl_2 \xrightarrow{582^\circ C} Pt + Cl_2$$

$$AuCl_3 \xrightarrow{175^\circ C} AuCl + Cl_2 \; ; \qquad 2\ AuCl \xrightarrow{1858} 2\ Au + Cl_2$$

$$2\ CuCl_2 \xrightarrow{500^\circ C} 2\ CuCl + Cl_2$$

(2) **পরীক্ষাগারের পদ্ধতি :** পরীক্ষাগারে সাধারণতঃ HCl-এর জারণ ঘটিয়ে ক্লোরিন প্রস্তুত করা হয়। এই জারণ ক্রিয়া ঘটানো হয় উত্তাপে MnO_2-এর দ্বারা এবং স্বাভাবিক উষ্ণতায় পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের দ্বারা। জারক দ্রব্যরূপে নাইট্রিক অ্যাসিড, পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট, রেড লেড, পটাসিয়াম ক্লোরেট ইত্যাদির ব্যবহারও চলে।

HCl ও MnO_2-এর বিক্রিয়ায় ক্লোরিন তৈরী : নীতি : গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড-চূর্ণ মিশিয়ে উত্তাপ দিলে HCl থেকে ক্লোরিন বিমুক্ত হয়। বিক্রিয়াটি সম্ভবতঃ দুইটি স্তরে ঘটে। প্রথম স্তরে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড HCl-কে জারিত করে ক্লোরিন উৎপন্ন করে এবং নিজে ম্যাঙ্গানিজ ট্রাইক্লোরাইডে বিজারিত হয়ে যায়। ম্যাঙ্গানিজের এই ট্রাইক্লোরাইড অস্থায়ী বলে উত্তাপে এটি ডাইক্লোরাইডে রূপান্তরিত হয় এবং আরও ক্লোরিন উৎপন্ন হয়।

$$2\ MnO_2 + 8HCl = 2MnCl_3 + Cl_2 + 4H_2O$$

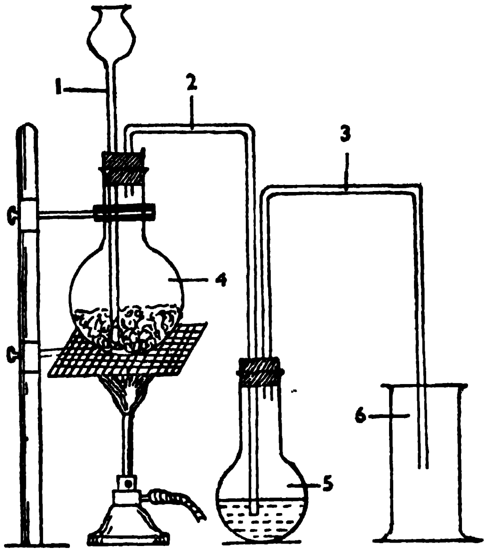
$$2\ MnCl_3 = 2MnCl_2 + Cl_2$$

কখনও কখনও HCl-এর পরিবর্তে সোডিয়াম ক্লোরাইড ও গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণকে MnO_2-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করা হয়।

$$MnO_2 + 2NaCl + 3H_2SO_4 = MnSO_4 + 2NaHSO_4 + Cl_2 + 2\ H_2O$$

পরীক্ষা : একটি গোলতল ফ্লাস্কে কিছু ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইডের কালো গুঁড়ো লওয়া হয়। ফ্লাস্কটির মুখে দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নল-

যুক্ত ছিপি আঁটা থাকে। নির্গম-নলের অপর প্রান্ত অংশিক জল-পূর্ণ একটি ফ্লাস্কের মধ্যে ডুবানো থাকে। এই দ্বিতীয় ফ্লাস্কের সঙ্গে যুক্ত থাকে



1. দীর্ঘ-নল ফানেল 2-3. নির্গম-নল 4. গোলতল ফ্লাস্ক
5. দ্বিতীয় ফ্লাস্ক 6. গ্যাসজার
12. 4. 1নং চিত্র

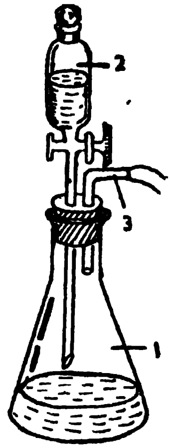
আরেকটি নির্গম-নল যার অপর প্রান্ত একটি সোজা-করে বসানো গ্যাসজারে প্রবেশ করানো থাকে। বার্ণারের সাহায্যে গোলতল ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয় (12. 4. 1 নং চিত্র)।

সংগ্রহ ঃ উত্তাপে ক্লোরিন উৎপন্ন হয় এবং তা নির্গম-নল পথে বেরিয়ে আসে। এই গ্যাসের সঙ্গে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস মিশ্রিত থাকে বলে গ্যাস মিশ্রণটিকে দ্বিতীয় ফ্লাস্কের জলের মধ্যে চালনা করা হয়। এতে HCl জলে দ্রবীভূত হয়ে যায় এবং ক্লোরিন বায়ুর ঊর্দ্ধাপসারণের দ্বারা গ্যাসজারে সঞ্চিত হয়।

পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ক্লোরিন তৈরী ঃ স্বাভাবিক উষ্ণতায় পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট কর্তৃক HCl জারিত হয়ে ক্লোরিন বিমুক্ত করে। পারম্যাঙ্গানেট নিজে ম্যাঙ্গানিজ ডাইক্লোরাইডে বিজারিত হয়।

$$2KMnO_4+16HCl=2KCl+2MnCl_2+5Cl_2+8H_2O$$

পরীক্ষা : একটি কোনাকার (Conical) ফ্লাস্কে কিছু $KMnO_4$ লওয়া হয়। ফ্লাস্কের মুখ দুই ছিদ্রযুক্ত একটি রাবারের ছিপি দিয়ে আঁটা থাকে। ছিপির একটি ছিদ্র দিয়ে প্রবেশ করানো হয় প্যাঁচ-কলযুক্ত একটি দীর্ঘনল ফানেল এবং অপর ছিদ্র দিয়ে একটি নির্গম-নল। প্যাঁচ-কলের সাহায্যে বিন্দু বিন্দু করে HCl-দ্রবণ ফেলা হয়। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ক্লোরিন নির্গম-নল পথে বেরিয়ে আসে (12.4.2 নং চিত্র)।



1. কোনাকার ফ্লাস্ক
2. প্যাঁচকলযুক্ত দীর্ঘ-নল ফানেল
3. নির্গম-নল
12. 4. 2নং চিত্র

(3) **বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি (শিল্প পদ্ধতি) :** এই পদ্ধতিতে ব্রাইন দ্রবণ (NaCl) বা গলিত NaCl-এর বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ দ্বারা ক্লোরিন উৎপন্ন করা হয়। বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণের ফলে অ্যানোডে উৎপন্ন হয় ক্লোরিন।

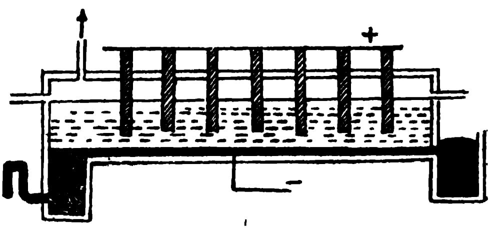
$$NaCl = Na^+ + Cl^-$$

অ্যানোড বিক্রিয়া :

$$Cl^- - e = Cl \; ; \quad Cl + Cl = Cl_2$$

ক্যাথোড বিক্রিয়া : $Na^+ + e = Na$

বিদ্যুৎ-বিশ্লেষ্যরূপে যদি NaCl দ্রবণ ব্যবহৃত হয় তবে ধাতব সোডিয়ামের



12. 4. 3নং চিত্র

পরিবর্তে NaOH-এর দ্রবণ ক্যাথোডে উৎপন্ন হয়। আর গলিত NaCl ব্যবহার করলে ধাতব সোডিয়াম পাওয়া যায়।

চিত্রানুরূপ (12.4.3 নং চিত্র) পাত্রে বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ ঘটানো হয়। এতে ব্যবহৃত হয় গ্রাফাইট অ্যানোড এবং মার্কারী ক্যাথোড।

ধর্ম : ভৌত ধর্ম : এটি সবুজাভ হলুদ বর্ণের তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধ বিশিষ্ট গ্যাস। জলে এটি দ্রবণীয়। বায়ুর থেকে ক্লোরিন প্রায় আড়াইগুণ

ভারী। গ্যাসটি বিষাক্ত। প্রথম বিশ্ব যুদ্ধে বিষবাষ্প রূপে শত্রু পক্ষের উপর এটি ব্যবহৃত হয়েছিল। গ্যাসটি সহজেই তরলীভূত হয়। তরল বায়ুর উষ্ণতায় ঈষৎ হলুদ বর্ণের কঠিনে পরিণত হয়।

রাসায়নিক ধর্ম: (i) জলে এটি দ্রবীভূত হয় এবং জলীয় দ্রবণে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$Cl_2+H_2O=HCl+HOCl$$

হাইপোক্লোরাইড অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এইজন্যই ক্লোরিন-জলের বিরঞ্জন ধর্ম আছে।

$$HOCl=HCl+O$$

ক্লোরিনের সংপৃক্ত জলীয় দ্রবণকে 0°C-এ শীতল করলে ক্লোরিন হেক্সাহাইড্রেট সাদা স্ফটিকরূপে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। এই স্ফটিকাকার পদার্থের সংযুক্তি $Cl_2, 6H_2O$।

(ii) হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া: ক্লোরিন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে সূর্যালোকে রেখে দিলে উভয়ের মধ্যে সংযোগ ঘটে এবং উৎপন্ন হয় হাইড্রোজেন ক্লোরাইড। $H_2+Cl_2=2HCl+22000$ ক্যালোরি

(iii) অন্যান্য অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া: আর্সেনিক, ফসফরাস ইত্যাদি অধাতু ক্লোরিনের সংস্পর্শে স্বতঃস্ফূর্তভাবে জ্বলে ওঠে।

$$2As+3Cl_2=2AsCl_3\ ;\ 4P+6Cl_2=4PCl_3$$

$$4P+10Cl_2=4PCl_5$$

(iv) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া: প্রায় সকল ধাতুই উত্তপ্ত অবস্থায় ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্লোরাইড উৎপন্ন করে।

$$2Na+Cl_2=2NaCl\ ;\ Cu+Cl_2=CuCl_2\ ;$$

$$2Sb+5Cl_2=2SbCl_5\ ;\ 2Au+3Cl_2=2AuCl_3\ ;\ Sn+2Cl_2=SnCl_4$$

(v) জারণ ধর্ম: ক্লোরিন একটি উত্তম জারক দ্রব্য। উপরিউক্ত সকল বিক্রিয়াই ক্লোরিনের জারণ ধর্মের উদাহরণ। প্রতিক্ষেত্রে বিক্রিয়ার পূর্বে ক্লোরিনের জারণ-সংখ্যা 0 এবং পরে তা কমে হয়—1। উদাহরণ:

$$2As+3Cl_2=2AsCl_3\ ;\quad 2Na+Cl_2=2NaCl$$

ফেরাস ক্লোরাইড ক্লোরিনের দ্বারা ফেরিক ক্লোরাইডে জারিত হয়। স্ট্যানাস্ ক্লোরাইডও একইভাবে স্ট্যানিক ক্লোরাইডে জারিত হয়।

$$2FeCl_2+Cl_2=2FeCl_3\ ;\quad SnCl_2+Cl_2=SnCl_4$$

ক্লোরিনের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায়, উভয়ের পরিমাণের উপর নির্ভর করে, বিভিন্ন পদার্থ উৎপন্ন হয়।

অ্যামোনিয়ার পরিমাণ ক্লোরিনের পরিমাণের চেয়ে বেশী হলে উৎপন্ন হয় অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও নাইট্রোজেন।

$$3Cl_2+8NH_3=6NH_4Cl+N_2$$

আর ক্লোরিনের পরিমাণ বেশী থাকলে পাওয়া যায় অতি বিস্ফোরক পদার্থ নাইট্রোজেন ট্রাইক্লোরাইড।

$$3Cl_2+NH_3=NCl_3+3HCl$$

হাইড্রোজেন সালফাইডের সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় সালফার উৎপন্ন হয়।

$$H_2+Cl_2=2HCl+S$$

ব্রোমাইড ও আয়োডাইডের যৌগ থেকে ক্লোরিন যথাক্রমে ব্রোমিন ও আয়োডিনকে প্রতিস্থাপিত করে এবং বর্ণহীন দ্রবণ যথাক্রমে হলুদ ও বেগুণী বর্ণ ধারণ করে।

$$2HI+Cl_2=2HCl+I_2$$
$$2KX+Cl_2=2KCl+X_2 \ (X=Br, I)$$

(vi) ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া: শীতল ও লঘু ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব ক্লোরাইড ও হাইপোক্লোরাইট উৎপন্ন করে।

$$2Ca(OH)_2+2Cl_2=CaCl_2+Ca(OCl)_2+2H_2O$$
$$2NaOH+Cl_2=NaCl+NaOCl+H_2O$$

উত্তপ্ত ও গাঢ় ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে ধাতব ক্লোরাইড এবং ক্লোরেট।

$$6NaOH+3Cl_2=5NaCl+NaClO_3+3H_2O$$
$$6Ca(OH)_2+6Cl_2=5CaCl_2+Ca(ClO_3)_2+6H_2O$$

কলিচুনের সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় ব্লিচিং পাউডার উৎপন্ন হয়।

$$Ca(OH)_2+Cl_2=Ca(OCl)Cl+H_2O$$

ক্ষারীয় H_2O_2 থেকে এটি অক্সিজেন বিমুক্ত করে।

$$H_2O_2+2NaOH+Cl_2=2NaCl+H_2O+O_2$$

(vii) যুত যৌগ গঠন: কার্বন মনোক্সাইড, সালফার ডাইঅক্সাইড এবং অসংপৃক্ত জৈব যৌগের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্লোরিন যুত যৌগ (Additive Compound) গঠন করে।

$$CO+Cl_2=COCl_2$$; (কার্বনিল ক্লোরাইড)

$$SO_2+Cl_2=SO_2Cl_2$$ (সালফিউরাইল ক্লোরাইড)

$$CH_2=CH_2+Cl_2=CH_2Cl-CH_2Cl$$

ইথিলিন ইথিলিন ডাই-ক্লোরাইড

(viii) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া : মিথেনের অণুতে যে চারটি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে বিক্ষিপ্ত সূর্যালোকে ক্লোরিনের দ্বারা একে একে তা প্রতিস্থাপিত হয়।

$$CH_4+Cl_2=HCl+CH_3Cl$$ (মিথাইল ক্লোরাইড)

$$CH_3Cl+Cl_2=HCl+CH_2Cl_2$$ (মিথিলিন ডাইক্লোরাইড)

$$CH_2Cl_2+Cl_2=HCl+CHCl_3$$ (ক্লোরোফর্ম)

$$CHCl_3+Cl_2=H+CCl_4$$ (কার্বনটেট্রা ক্লোরাইড)

(ix) বিরঞ্জন ধর্ম : জলের উপস্থিতিতে ক্লোরিন উদ্ভিজ্জ রঙকে বিরঞ্জিত করে। জলের অনুপস্থিতিতে ক্লোরিন বিরঞ্জন ঘটাতে পারে না। জলের সঙ্গে ক্লোরিন প্রথমে বিক্রিয়া করে জায়মান অক্সিজেন তৈরী করে। এই জায়মান অক্সিজেনই উদ্ভিজ্জ রঙকে জারিত করে বিনষ্ট করে।

ছাপার কালিতে কার্বন থাকে বলে ঐ রঙ ক্লোরিন কর্তৃক বিনষ্ট হয় না।

সনাক্তকরণ : ঝাঁঝালো গন্ধ, সবুজাভ-হলুদ রঙ এবং বিরঞ্জন ধর্ম দেখে ক্লোরিনকে চেনা যায়। পটাসিয়াম আয়োডাইডের দ্রবণ থেকে ক্লোরিন আয়োডিনকে বিমুক্ত করে। বিমুক্ত আয়োডিন স্টার্চ দ্রবণকে নীল বর্ণে পরিণত করে।

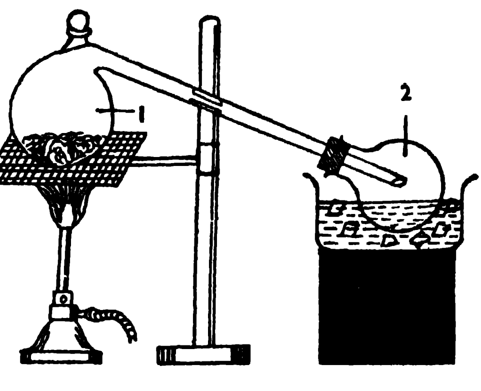
ব্যবহার : (i) ক্লোরিন বিরঞ্জক পদার্থরূপে কাগজ এবং বস্ত্র শিল্পে ব্যবহৃত হয়। (ii) জীবাণুনাশকরূপে জল পরিশোধনে ক্লোরিন ব্যবহৃত হয়। ক্ষতস্থান ধৌত করার জন্য ডেকিনের অ্যান্টিসেপ্টিক দ্রবণে (Dakin's Antiseptic solution-এ) ক্লোরিন থাকে (এই দ্রবণটিতে থাকে $NaHCO_3$, ক্লোরিনযুক্ত চুন এবং বোরিক অ্যাসিড)। (iii) বিষাক্ত গ্যাস—যেমন, ফসজিন গ্যাস, মাস্টার্ড গ্যাস [Dichloro dicthyl sulphide, $(CH_2CH_2Cl)_2S$], ক্লোরোপিক্রিন (CCl_3NO_2), ইত্যাদি তৈরী করার জন্য ক্লোরিন ব্যবহৃত হয়। এই বিষাক্ত গ্যাসগুলি জীবাণুনাশক এবং ছত্রাক-নাশকরূপে ব্যবহৃত হয়। (iv) ব্লিচিং পাউডার, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, হাইপোক্লোরাইট এবং অনেক ক্লোরাইড তৈরী করার জন্যও ক্লোরিন ব্যবহৃত হয়।

ব্রোমিন (Bromine ; Br) : ব্যালার্ড (A. J. Balard, 1926) সর্বপ্রথম সমুদ্রজল থেকে ব্রোমিন প্রস্তুত করেন।

প্রস্তুতি : (i) পরীক্ষাগারে পটাসিয়াম ব্রোমাইড, ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে ব্রোমিন তৈরী করা হয়।

$$2KBr+3H_2SO_4+MnO_2=2KHSO_4+MnSO_4+2H_2O+Br_2$$

পরীক্ষা : একটি কাঁচের বকযন্ত্রে কিছু ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড, পটাসিয়াম ব্রোমাইড এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড নিয়ে উত্তপ্ত করা হয়। বকযন্ত্রের গলার শেষ প্রান্তে যুক্ত থাকে একটি গ্রাহক পাত্র। এই পাত্রটি বরফ জলে বসানো থাকে। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ব্রোমিন গ্যাসীয় অবস্থায় বকযন্ত্রের গলা দিয়ে বেরিয়ে এসে শীতল গ্রাহক পাত্রে লাল বর্ণের তরল রূপে সঞ্চিত হয় (12. 4. 4 নং চিত্র)।



1. বক যন্ত্র 2. গ্রাহক পাত্র

12. 4. 4নং চিত্র

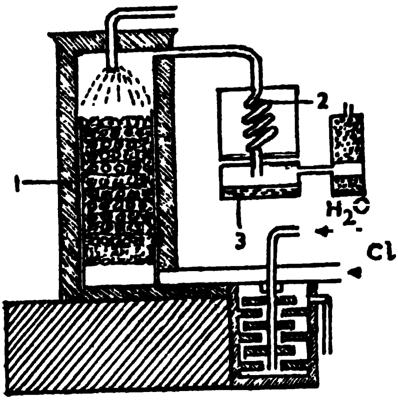
(ii) ধাতব ব্রোমাইডের দ্রবণকে ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করলে ব্রোমিন বিমুক্ত হয়। $2KBr+Cl_2=2KCl+Br_2$

(iii) শিল্প পদ্ধতি : শিল্পে সমুদ্রজল (বিশেষতঃ মৃতসাগরের জল) বা কার্নালাইট খনিজ থেকে ব্রোমিন উৎপন্ন করা হয়।

পদ্ধতি : সমুদ্রজল থেকে ব্রোমিন ব্যালার্ডের পদ্ধতিদ্বারাই তৈরী করা হয়। কার্নালাইট থেকে নিম্নলিখিত ভাবে ব্রোমিন উৎপন্ন করা হয়।

কার্নালাইটকে প্রথমে চূর্ণ করে জলে দ্রবীভূত করা হয়। এই দ্রবণকে উত্তাপে বাষ্পীভূত করলে পটাসিয়াম ব্রোমাইড কেলাসিত হয়ে দ্রবণ থেকে

পৃথক হয়ে যায়। এর পরে যে দ্রবণ থাকে (60°C-এ) তা উপর থেকে সরু ধারার আকারে মাটির ছোট ছোট গোলক পূর্ণ একটি ট্যাংকে ফেলা হয়, এবং ট্যাংকের নীচ থেকে প্রবাহিত করা হয় স্টীম ও ক্লোরিন (12. 4. 5নং চিত্র)। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ব্রোমিন গ্যাস ট্যাংকের উপর দিকে অবস্থিত একটি পার্শ্ব নল দিয়ে শীতকে (Condenser-এ) প্রবেশ করে এবং তরলরূপে আরেকটি ট্যাংকে জমে।



1. ট্যাংক 2. শীতক 3. গ্রাহক ট্যাংক
12. 4. 5নং চিত্র

$$MgBr_2 + Cl_2 = MgCl_2 + Br_2$$

বিশুদ্ধিকরণ ঃ শিল্পজাত ব্রোমিনে, ক্লোরিন, আয়োডিন এবং জলীয় বাষ্প অপদ্রব্যরূপে থাকে। এইজন্য ঐ ব্রোমিনকে KBr ও ZnO-এর সঙ্গে মিশিয়ে পাতিত করা হয়। KBr-কর্তৃক ক্লোরিন এবং ZnO কর্তৃক আয়োডিন দূরীভূত হয়। এইভাবে প্রাপ্ত ব্রোমিনকে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মিশিয়ে আবার পাতিত করা হলে শুষ্ক ব্রোমিন পাওয়া যায়।

ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় ব্রোমিন গাঢ় লাল বর্ণের একটি ঘন তরল পদার্থ। এটি তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত। ব্রোমিন অত্যন্ত বিষাক্ত। চামড়ার সংস্পর্শে এটি দুরারোগ্য ক্ষতের সৃষ্টি করে। ব্রোমিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব 3·18 এবং স্ফুটনাঙ্ক 59°C। 20°C উষ্ণতায় জলে এটি 3·6% দ্রাব্য। এর জলীয় দ্রবণ লালচে। ইথার, অ্যালকোহল, ক্লোরোফর্ম, কার্বন ডাইসালফাইড ইত্যাদি জৈব দ্রাবকে এটি দ্রবণীয়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ সক্রিয়তা কিছুকম হলেও ব্রোমিন রাসায়নিক ধর্মে ক্লোরিনের সদৃশ।

জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ব্রোমিন-জল তৈরী করে। এই দ্রবণে থাকে হাইড্রোব্রোমিক ও হাইপোব্রোমাস অ্যাসিড। সমীকরণ ক্লোরিনের ন্যায়।

সাধারণ উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের সঙ্গে ব্রোমিন বিক্রিয়াহীন হলেও জ্বলন্ত হাইড্রোজেনের সঙ্গে ব্রোমিন HBr উৎপন্ন করে।

ব্রোমিন ক্ষারের সঙ্গে, বিভিন্ন ধাতু ও অধাতুর সঙ্গে ক্লোরিনের মতোই

বিক্রিয়া করে। ক্লোরিনের চেয়ে ব্রোমিনের বিরঞ্জন ধর্ম মৃদু। ব্রোমিন ক্ষারীয় হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অক্সিজেন বিমুক্ত করে। ক্লোরিনের মতই এটি একটি জারক দ্রব্য এবং যুত যৌগ গঠনে সক্ষম।

$$H_2O_2+Br_2=2HBr+O_2\ ;\ C_2H_4+Br_2=C_2H_4Br_2$$

সনাক্তকরণঃ (i) ব্রোমিন গাঢ় লাল বর্ণের তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত একটি তরল। (ii) স্টার্চ দ্রবণের সঙ্গে এটি হলুদবর্ণ ধারণ করে। (iii) জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়ে এটি বাদামী বর্ণ ধারণ করে।

ব্যবহারঃ (i) আলকাতরা থেকে রঙ প্রস্তুতির জন্য ব্রোমিন ব্যবহৃত হয়। (ii) সিলভার ব্রোমাইড তৈরীর জন্যও এটি ব্যবহৃত হয়। ফোটো-গ্রাফীর ফিল্ম তৈরী করার জন্য AgBr ব্যবহৃত হয়। সেলুলোজ কাগজের উপর AgBr-এর প্রলেপ দিয়েই ফিল্ম তৈরী হয়। (iii) ব্রোমিন ও পটাসিয়ামের বিক্রিয়ায় পটাসিয়াম ব্রোমাইড তৈরী হয়। ঘুমের ওষুধরূপে KBr ব্যবহৃত হয়। (iv) জারক দ্রব্যরূপে এবং জীবাণুনাশক হিসাবেও এটি ব্যবহৃত হয়। (v) জৈব যৌগ ইথিলিন ও ব্রোমিনের বিক্রিয়ায় ইথিলিন ডাইব্রোমাইড নামে যে যুত যৌগ উৎপন্ন হয় তা মোটর গাড়ীতে ব্যবহৃত হয়। অগ্নিনির্বাপকরূপে মিথাইল ব্রোমাইড ব্যবহৃত হয়। (vi) টিয়ার গ্যাস তৈরীতেও এটি ব্যবহৃত হয়। (vii) স্বর্ণ-নিষ্কাশনে ব্রোমিনের ব্যবহার আছে।

আয়োডিন (Iodine ; I)ঃ বিজ্ঞানী কুর্তোয়া (Courtis, 1811) সামুদ্রিক উদ্ভিদের ভস্মকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে গাঢ় বেগুনী বর্ণের অয়োডিন গ্যাস আবিষ্কার করেন।

প্রস্তুতিঃ (i) **পরীক্ষাগারে** পটাসিয়াম আয়োডাইড, ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড এবং গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে আয়োডিন তৈরী করা হয়।

$$2KI+3H_2SO_4+MnO_2=2KHSO_4+MnSO_4+2H_2O+I_2$$

উৎপন্ন আয়োডিন বকযন্ত্রের গলায় (12.4.4 নং চিত্র দ্রষ্টব্য) এবং গ্রাহক পাত্রে চক্চকে কালো স্ফটিকরূপে সঞ্চিত হয়।

(ii) **শিল্প প্রস্তুতিঃ** (a) গভীর সমুদ্র থেকে উদ্ভিদ সংগ্রহ করে সেগুলিকে শুষ্ক করা হয়। শুষ্ক উদ্ভিদকে ভস্মীভূত করলে পাওয়া যায় ভস্ম। এই ভস্মকে বলে কেল্প (Kelp); এতে থাকে প্রধানতঃ ক্ষারীয় ধাতুর (Na,K,) আয়োডাইড, ক্লোরাইড, ব্রোমাইড ও সালফেট। এই কেল্পকে

গরম জলে অনুস্রাবণ (Lixiviation) করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এই দ্রবণকে উত্তাপে বাষ্পীভূত করলে ক্লোরাইড, সালফেট ইত্যাদি লবণগুলি কেলাস রূপে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়ে যায়। এইবার এই দ্রবণে MnO_2 ও গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে লোহার বকযন্ত্রে উত্তপ্ত করলে আয়োডিন বিমুক্ত হয়। বিমুক্ত আয়োডিন মাটির শীতল গ্রাহক পাত্রে সঞ্চিত করা হয়।

(b) প্রাকৃতিক সোরা বা ক্যালিকের (Caliche) মধ্যে 0·2% সোডিয়াম আয়োডেট ($NaIO_3$) থাকে। এখান থেকেও আয়োডিন প্রস্তুত করা হয়। ক্যালিকের চূর্ণকে জলে দ্রবীভূত করে আংশিক কেলাসন পদ্ধতিতে অপেক্ষাকৃত অল্পদ্রাব্য $NaNO_3$-এর কেলাসকে পৃথক করা হয়। এইবার যে দ্রবণ থাকে তাতে মেশানো হয় যথোপযুক্ত সোডিয়াম বাই-সালফাইট। সোডিয়াম বাইসালফাইট কিছু পরিমাণ আয়োডেটকে আয়োডাইডে বিজারিত করে। এই সোডিয়াম আয়োডাইড বাকী আয়োডেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে হাইড্রোআয়োডিক এবং আয়োডিক অ্যাসিড। এই উৎপন্ন পদার্থ দুটি পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়ায় আয়োডিন বিমুক্ত করে। এই আয়োডিনকে ঊর্দ্ধপাতন পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ করা হয়।

$$5NaIO_3+15NaHSO_3=5NaI+15NaHSO_4$$

$$NaIO_3+5NaI+6NaHSO_4=HIO_3+5HI+6Na_2SO_4$$

$$HIO_3+5HI=3I_2+3H_2O$$

(c) পেট্রোলিয়াম খনিজাত লবণজলকে অম্লীকৃত করে তাতে সোডিয়াম নাইট্রাইট যোগ করে বর্তমানে আয়োডিন উৎপন্ন করা হয়।

$$NaI+H_2SO_4=HI+NaHSO_4$$

$$H_2SO_4+NaNO_2=HNO_2+NaHSO_4$$

$$2HI+2HNO_2=2H_2O+2NO+I_2$$

উৎপন্ন আয়োডিন দ্রবণে থাকে। তাকে সক্রিয় চারকোল (Activated charcoal) দ্বারা শোষণ করা হয়। এইবার এই চারকোলকে অ্যানোডরূপে ব্যবহার করে তড়িৎ-বিশ্লেষণ করা হয়। চারকোলে শোষিত আয়োডিন অ্যানোডে বিমুক্ত হয়।

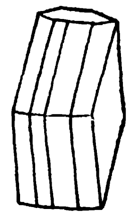
বিশুদ্ধিকরণ: উপরিউক্ত পদ্ধতিগুলির দ্বারা প্রাপ্ত আয়োডিন অবিশুদ্ধ। এতে থাকে আয়োডিন মনোক্লোরাইড (ICl), আয়োডিন ব্রোমাইড (IBr), আয়োডিন সায়ানাইড (ICN) এবং জলীয় বাষ্প। এই জন্য এই আয়োডিনকে চুন ও KI-এর সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হয়।

এতে বিশুদ্ধ আয়োডিন ঊর্দ্ধপাতিত হয়ে সঞ্চিত হয়। চুন জল-শোষকরূপে এবং পটাসিয়াম আয়োডাইড ICl, IBr এবং ICN-এর শোষকরূপে কাজ করে।

$$IX+KI=KX+I_2 \quad (X=Cl, Br, CN)$$

$$CaO+H_2O=Ca(OH)_2$$

ধর্মঃ ভৌত ধর্মঃ স্বাভাবিক উষ্ণতায় আয়োডিন কালো বর্ণের চকচকে স্ফটিকাকার কঠিন পদার্থ। এর ঔজ্জ্বল্য ধাতব ঔজ্জ্বল্যের মতো। এর গলনাঙ্ক 114°·2C, স্ফুটনাঙ্ক 284°C এবং ঘনত্ব 4·94 (18°C-এ)। সামান্য উষ্ণতায় এটি ঊর্দ্ধপাতিত হয়। বাষ্পীয় অবস্থায় এটির রঙ গাঢ় বেগুনী। এটি ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত, জলে অল্প দ্রাব্য, জৈব দ্রাবকে (অ্যালকোহল, ইথার, ক্লোরোফর্ম, অ্যাসিটোন, কার্বন ডাইসালফাইড, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড, বেঞ্জিন, ইত্যাদিতে) সম্পূর্ণরূপে দ্রবীভূত হয়। এটির ইথার-দ্রবণকে ধীরে ধীরে বাষ্পীভূত করলে রম্বিক কেলাসরূপে (12.4.6 নং চিত্র) এটি কেলাসিত হয়। 700°C উষ্ণতা পর্যন্ত এর অণুর পারমাণবিকতা দুই (I_2)। এই উষ্ণতার ঊর্দ্ধে I_2 পরমাণুতে বিয়োজিত হয়ে যায়ঃ $I_2 \rightleftharpoons 2I$



12. 4. 6নং চিত্র

রাসায়নিক ধর্মঃ অন্যান্য হ্যালোজেন মৌলের রাসায়নিক ধর্মের সঙ্গে এর রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য থাকলেও এর রাসায়নিক সক্রিয়তা অনেক কম।

হাইড্রোজেনের সঙ্গে উত্তপ্ত প্লাটিনাম ধাতুর সংস্পর্শে আয়োডিন হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন করে। বিক্রিয়া উভমুখীঃ $H_2+I_2 \rightleftharpoons 2HI$

বহু অধাতু ও ধাতুর সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় আয়োডিন বিক্রিয়া করে আয়োডাইড উৎপন্ন করে। যেমন, P, Hg, Fe, Zn, Sb, K, Cl, F, ইত্যাদির সঙ্গে এটি যুক্ত হয়।

ক্ষারের সঙ্গে আয়োডিনের বিক্রিয়া ক্লোরিনের মতো।

জারক দ্রব্যরূপেও এটি Cl ও Br-এর সদৃশ। আর্সেনাইটকে এটি জারিত করে আর্সেনেটে রূপান্তরিত করে।

$$H_3AsO_3+I_2+H_2O \rightleftharpoons H_3AsO_4+2HI$$

সোডিয়াম থায়োসালফেটকে আয়োডিন জারিত করে সোডিয়াম টেট্রাথায়োনেটে রূপান্তরিত করে।

$$2Na_2S_2O_3+I_2=Na_2S_4O_6+2NaI$$

[ক্লোরিন বা ব্রোমিন-জলের দ্বারা থায়োসালফেট সালফেট লবণে জারিত হয় এবং সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

[$Na_2S_2O_3+X_2+H_2O=Na_2SO_4+2HX+S(X=Cl, Br)$]

এর কোন বিরঞ্জন ধর্ম নেই। পটাসিয়াম আয়োডাইড দ্রবণে এটি জটিল যৌগ গঠন করে দ্রবীভূত হয়। $2KI+I_2=KI_3$

অন্যান্য হ্যালোজেন মৌলের সঙ্গে এর একটি প্রধান পার্থক্য এই যে, এটি গাঢ় HNO_3-এর দ্বারা জারিত হতে পারে।

$$3I_2+10HNO_3=6HIO_3+10NO+2H_2O$$

অন্যান্য হ্যালোজেনের ন্যায় ক্ষারীয় H_2O_2-এর দ্রবণ থেকে এটি অক্সিজেন বিমুক্ত করে।

$$I_2+H_2O_2+2NaOH=2NaI+2H_2O+O_2$$

পটাসিয়াম ক্লোরেটের ক্লোরিনকে আয়োডিন প্রতিস্থাপিত করতে পারে।

$$2KClO_3+I_2=2KIO_3+Cl_2$$

সনাক্তকরণ: আয়োডিন সাধারণ অবস্থায় তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধবিশিষ্ট কালো কঠিন পদার্থ, বাষ্পীয় অবস্থায় আয়োডিন গাঢ় বেগুনী রঙ-এর হয়। স্টার্চ দ্রবণের সঙ্গে এটি গাঢ় নীল বর্ণ ধারণ করে। অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোনের সঙ্গে NaOH ও আয়োডিন আয়োডোফর্ম (CHI_3) গঠন করে।

ব্যবহার: ওষুধ তৈরীতে আয়োডিন ব্যবহার করা হয়। জীবাণুনাশক পদার্থ আয়োডোফর্ম আয়োডিন থেকেই উৎপন্ন হয়। টিংচার আয়োডিন (I_2,KI ও অ্যালকোহলের দ্রবণ) জীবাণুনাশকরূপে ব্যবহৃত হয়। ফটোগ্রাফীতে ও রঞ্জক উৎপাদনে এটি ব্যবহৃত হয়।

প্রশ্নাবলী

1. হীরক ও গ্রাফাইট উভয়ে কার্বন পরমাণুর সমবায়ে গঠিত। কিন্তু একটি অতি কঠিন, অপরটি নরম—কেন? কিভাবে গ্রাফাইট প্রস্তুত করা যায়? এটির ধর্ম ও ব্যবহার উল্লেখ কর।

2. কার্বনের রূপভেদগুলির পরিচয় দাও। এগুলির প্রস্তুতি ও ধর্ম বর্ণনা কর।

3. সাদা ও লাল ফসফরাসের তুলনামূলক আলোচনা কর। কিভাবে সাদা ফসফরাস প্রস্তুত করা যায়?

4. দুইটি পাত্রে হলুদবর্ণের কঠিন পদার্থ আছে। একটিকে উত্তপ্ত করলে লাল হয়ে যায়, অপরটির, উত্তাপে বর্ণ পরিবর্তিত হয় না। শেষোক্ত পদার্থটির অক্সাইড অম্লীকৃত ডাইক্রোমেট দ্রবণকে সবুজ করে। পদার্থ দুইটি কি কি? এগুলির বিভিন্ন রূপভেদগুলির পরিচয় ও ব্যবহার উল্লেখ কর।

5. পটাসিয়াম ক্লোরাইড, গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড এবং ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে কি ঘটে? এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাসটিকে স্বাভাবিক উষ্ণতায় কি ভাবে তৈরী করা যায়? বিভিন্ন ধাতুর সঙ্গে এটির বিক্রিয়া উল্লেখ কর।

6. পরীক্ষাগারে কিভাবে ব্রোমিন প্রস্তুত করবে? এটির রাসায়নিক ধর্ম উল্লেখ কর।

7. শিল্পে কি ভাবে আয়োডিন প্রস্তুত করা হয়? এটির বিভিন্ন ব্যবহার উল্লেখ কর।

8. ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনকে হ্যালোজেন মৌল বলে কেন? এগুলির ধর্মের তুলনামূলক আলোচনা কর।

9. ব্রোমিনের সঙ্গে ক্ষারের, ক্লোরিনের সঙ্গে পটাসিয়াম আয়োডাইডের, পটাসিয়াম ক্লোরেটের সঙ্গে আয়োডিনের এবং সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণের সঙ্গে বিদ্যুতের বিক্রিয়ায় কি ঘটে রাসায়নিক সমীকরণ সহ লেখ।

ত্রয়োদশ অধ্যায়

কয়েকটি অধাতব অক্সাইড

(Some non-metallic Oxides)

13.1 কার্বন মনোক্সাইড (Carbon monoxide ; CO) ঃ বিজ্ঞানী ক্রুইকশ্যাংক (Cruickshank, 1800) সর্ব্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে, কার্বন-মনোক্সাইড কার্বন ও অক্সিজেনের একটি যৌগ। আগ্নেয়গিরি থেকে উৎক্ষিপ্ত গ্যাসে অল্প পরিমাণে এটি থাকে। এছাড়া কয়লার আংশিক দহনে, যান-বাহন থেকে নির্গত ধোঁয়ায়, তামাকের ধোঁয়ায়, কোল গ্যাসে, ওয়াটার গ্যাসে এই গ্যাস পাওয়া যায়।

প্রস্তুতি ঃ (i) বিভিন্নভাবে কার্বনের আংশিক দহন ঘটিয়ে গ্যাসটি প্রস্তুত করা যায়। নিয়ন্ত্রিত অক্সিজেনে কার্বনের দহনে গ্যাসটি পাওয়া যায়।

$$C+O_2=CO_2 \text{ (700°C উষ্ণতার নীচে)}$$

$$2C+O_2=2CO \text{ (700°C উষ্ণতার উপরে)}$$

অক্সিজেনের পরিবর্তে বিভিন্ন ধাতব অক্সাইড ব্যবহার করে এই দহন ক্রিয়া ঘটালেও গ্যাসটি উৎপন্ন হয়।

$$ZnO+C=Zn+CO \; ; \; Fe_2O_3+3C=2Fe+3CO$$

$$CaO+3C=CaC_2+CO$$

খড়ি ($CaCO_3$) কোকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় এই গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$CaCO_3+C=CaO+2CO$$

(ii) শুষ্ক কার্বন ডাইঅক্সাইডকে লাল-তপ্ত কোক, লোহা বা জিঙ্ক ধাতুর উপর চালনা করলে এটি বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$CO_2+C \rightleftharpoons 2CO \; ; \; CO_2+Fe=CO+FeO$$

(iii) নিকেল কার্বনিল, $Ni(CO)_4$, যৌগটিকে 200°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে যৌগটি তাপীয় বিয়োজনের ফলে কার্বন মনোক্সাইড গ্যাস বিমুক্ত করে।

$$Ni(CO)_4=Ni+4CO$$

(iv) শ্বেত-তপ্ত কোকের উপর স্টীম চালনা করলেও কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়। $H_2O+C=CO+H_2$

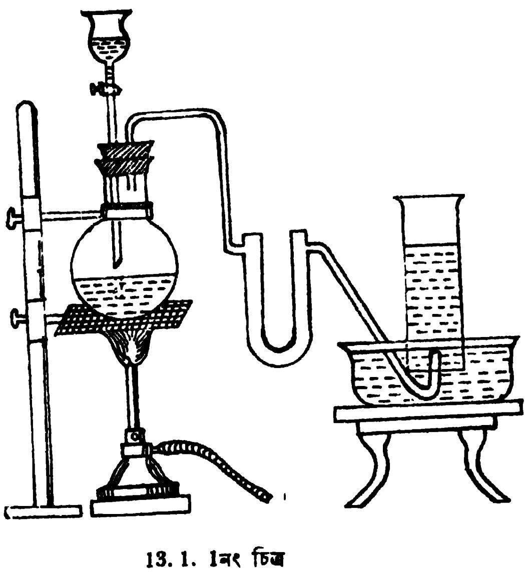
1 : 1 আয়তনিক অনুপাতে কার্বন মনোক্সাইড ও হাইড্রোজেনের গ্যাসীয় মিশ্রণকে **ওয়াটার গ্যাস** বলে।

(v) **গবেষণাগারের পদ্ধতিঃ** ফরমিক অ্যাসিড বা সোডিয়াম ফরমেট, অক্সালিক অ্যাসিড অথবা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করে সাধারণতঃ গবেষণাগারে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$HCOOH = CO + H_2O \; ; \; HOOC-COOH = CO + CO_2 + H_2O$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 6H_2SO_4 + 6H_2O = 2K_2SO_4 + FeSO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 6CO$$

ছিপির সাহায্যে গোলতল ফ্লাস্কের মুখে দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নল লাগানো হয়। নির্গম-নলের অপর প্রান্ত U-টিউবের একটি বাহুর সঙ্গে



13. 1. 1নং চিত্র

যুক্ত থাকে এবং U-টিউবের অপর বাহুর সঙ্গে যুক্ত থাকে আরও একটি নির্গম-নল যার আর এক প্রান্ত গ্যাস দ্রোণীর জলের মধ্যে ডুবানো থাকে। নির্গম-নলের এই প্রান্তটি উর্দ্ধমুখী এবং এর উপর উল্টানো থাকে জল-পূর্ণ একটি গ্যাসজার। যদি ফরমিক অ্যাসিড থেকে গ্যাসটি তৈরী করা হয় তবে প্যাঁচ-কল যুক্ত ফানেলে নেওয়া হয় ফরমিক অ্যাসিড আর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড রাখা হয় ফ্লাস্কে। তারপর ধীরে

ধীরে ফরমিক অ্যাসিড সালফিউরিক অ্যাসিডের উপর ঢালা হয়। আর অক্সালিক অ্যাসিড, সোডিয়াম ফরমেট বা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড থেকে কার্বন মনোক্সাইড তৈরী করতে হলে এই কঠিন পদার্থগুলিকে ফ্লাস্কে এবং গাঢ় H_2SO_4-কে ফানেলে নেওয়া প্রয়োজন। যন্ত্রসজ্জা ঠিক করে বার্ণারের সাহায্যে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয় (13. 1. 1 নং চিত্র)।

বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাস ফ্লাস্ক থেকে নির্গম-নল পথে বেরিয়ে আসে। এই গ্যাসে মিশ্রিত থাকে কিছু পরিমাণে সালফার ডাইঅক্সাইড ও কার্বন ডাই-অক্সাইড। এই গ্যাস দুইটি CO ও H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় ($H_2SO_4+CO=H_2O+SO_2+CO_2$)। এই জন্য গ্যাস-মিশ্রণকে U-টিউবে রক্ষিত KOH-দ্রবণের মধ্যে চালনা করা হয়। ফলে SO_2 ও CO_2 শোষিত হয় এবং CO মুক্ত হয়ে অপর নির্গম-নল পথে বেরিয়ে আসে। এই গ্যাস জলের নিম্ন অপসারণের দ্বারা গ্যাসজারে সংগৃহীত হয়। এইভাবে উৎপন্ন গ্যাসে প্রচুর জলীয় বাষ্প থাকে বলে শুষ্ক কার্বন মনোক্সাইড তৈরী করার জন্য U-টিউব থেকে বেরিয়ে-আসা গ্যাসটিকে ফসফরাস পেণ্টক্সাইড-পূর্ণ বাল্বের মধ্যে চালনা করা হয়। ফসফরাস পেণ্টক্সাইড জলীয় বাষ্প শোষণ করে গ্যাসটিকে শুষ্ক করে। পরে এই গ্যাস পারদের নিম্ন অপসারণের দ্বারা সংগৃহীত হয়।

ধর্ম ঃ ভৌতধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় CO একটি গ্যাস। এটি বর্ণহীন, গন্ধহীন ও বায়ু থেকে সামান্য হাল্কা ; জলে অতি সামান্য দ্রবীভূত হয়। কিউপ্রাস ক্লোরাইডের হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড-দ্রবণ অথবা তার অ্যামোনিয়া-দ্রবণে গ্যাসটি শোষিত হয়।—$138^0{\cdot}7C$ উষ্ণতায় 34·6mm চাপে এটি তরলীভূত হয়। গ্যাসটি অত্যন্ত বিষাক্ত। আয়তন হিসাবে 0·125% কার্বন মনোক্সাডই মাত্র তিরিশ মিনিটের মধ্যে প্রাণীর মৃত্যু ঘটাতে পারে। রক্তে হিমোগ্লোবিন (Hemoglobin) নামক একটি পদার্থ আছে যা বায়ু থেকে অক্সিজেন গ্রহণ করে দেহকোষগুলিতে পৌঁছে দেয়। ফলে কোষগুলি কাজ করার ক্ষমতা অর্জন করে। কার্বন মনোক্সাইড হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে কারবক্সি হিমোগ্লোবিন (Carboxy hemoglobin) নামে একটি যৌগ গঠন করে। এর ফলে হিমোগ্লোবিনের অক্সিজেন গ্রহণ করার ক্ষমতা লোপ পায়। দেহকোষ-গুলি এই কারণে অক্সিজেনের যোগান থেকে বঞ্চিত হয়। ফলে প্রাণীর মৃত্যু ঘটে। CO-এর ভৌত-ধর্ম নাইট্রোজেনের ভৌত ধর্মের প্রায় সদৃশ।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ কার্বন মনোক্সাইড নিজে দাহ্য, কিন্তু দহনের সহায়ক নয়। গ্যাসটিতে । উপস্থিতিতে আগুন ধরিয়ে দিলে তা নীলাভ শিখায় জ্বলে ; দহনের ফলে উৎপন্ন হয় কার্বন ডাইঅক্সাইড।

$$2CO+O_2=2CO_2$$

(ii) গ্যাসটি একটি উত্তম বিজারক দ্রব্য। অনেক ধাতব অক্সাইড (যেমন, PbO, CuO, Fe_2O_3, ইত্যাদি) লাল-তপ্ত অবস্থায় কার্বন মনোক্সাইড কর্তৃক ধাতুতে বিজারিত হয়। এই বিজারণ ধর্মের জন্যই CO ধাতু নিষ্কাশনে ব্যবহৃত হয়। $PbO+CO=Pb+CO_2$

$$Fe_2O_3+3CO=2Fe+3CO_2 ;\ CuO+CO=Cu+CO_2$$

ফেরিক অক্সাইড ও ক্রোমিয়াম অক্সাইডের (Cr_2O_3) মিশ্রণের উপস্থিতিতে কার্বন মনোক্সাইড স্টীমকে বিজারিত করে হাইড্রোজেন বিমুক্ত করে।

$$H_2O+CO=CO_2+H_2$$

Fe_2O_3 এবং Cr_2O_3 এখানে অনুঘটকরূপে কাজ করে।

আয়োডিন পেন্টক্সাইড 90°C উষ্ণতায় CO কর্তৃক আয়োডিনে বিজারিত হয়। $I_2O_5+5CO=I_2+5CO_2$

এই বিক্রিয়াটি কার্বন মনোক্সাইডের সনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

(iii) কিছু কিছু ধাতুর সূক্ষ্ম চূর্ণ উত্তপ্ত অবস্থায় এবং উচ্চতর চাপে সরাসরি কার্বন মনোক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতব কার্বনিল যৌগ গঠন করে।

$$Fe+5CO=Fe(CO)_5 : Ni+4CO\rightleftharpoons Ni(CO)_4 ;$$

$$2Co+8CO=Co_2(CO)_8$$

(iv) কার্বন মনোক্সাইড একটি অসংপৃক্ত (Unsaturated) যৌগ এবং ক্লোরিন ও গন্ধকের বাষ্পের সঙ্গে যুত (Additive) যৌগ গঠন করে।

$CO+Cl_2=COCl_2$; $CO+S=COS$ (কার্বনিল সালফাইড)

কার্বনিল ক্লোরাইড ($COCl_2$) বা ফসজিন একটি অতি বিষাক্ত গ্যাস।

(v) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা অ্যামোনিয়াযুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণ CO-কে শোষণ করে একটি সাদা স্ফটিকাকার কঠিন যৌগ গঠন করে।

$$CuCl+CO+2H_2O=2\ CuCl.\ CO.\ 2H_2O$$

যৌগটি অস্থায়ী এবং উত্তাপে পুনরায় CO বিমুক্ত করে।

(vi) প্রশম অক্সাইড হলেও CO 200°C উষ্ণতায় এবং উচ্চতর চাপে ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফরমেট উৎপন্ন করে।

$$CO+NaOH=HCOONa$$

সনাক্তকরণ ঃ (i) গ্যাসটি নীলাভ শিখায় জ্বলে। এই দহন ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয় CO_2 যা চুন-জলকে ঘোলা করে।

(ii) HCl বা NH_3-যুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণের দ্বারা এটি শোষিত হয়।

(iii) প্লাটিনাম ক্লোরাইড বা প্যালাডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণে ভেজানো ফিলটার কাগজ এই গ্যাসে রাখলে তা গোলাপী, সবুজ বা কালো বর্ণ ধারণ করে। $PtCl_2+H_2O+CO=Pt+2HCl+CO_2$

(iv) CO অ্যামোনিয়া যুক্ত সিলভার নাইট্রেট দ্রবণকে বিজারিত করে বাদামী বর্ণে পরিণত করে।

(v) আয়োডিন পেণ্টক্সাইড থেকে 90°C উষ্ণতায় কার্বন মনোক্সাইড বেগুণী বর্ণের আয়োডিন বিমুক্ত করে যা স্টার্চের দ্রবণের সঙ্গে নীল বর্ণ ধারণ করে।

(vi) রক্তের হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কার্বন মনোক্সাইড কারবক্সি হিমোগ্লোবিন উৎপন্ন করে এবং তা ট্যানিন দ্রবণের সঙ্গে লাল রঙের অধঃক্ষেপ তৈরী করে ; শুধু হিমোগ্লোবিন তৈরী করে বাদামী অধঃক্ষেপ।

ব্যবহার ঃ (i) এর বিজারণ ধর্মের জন্য ধাতু নিষ্কাশনে কার্বন মনোক্সাইড ব্যবহৃত হয়। (ii) কার্বন মনোক্সাইড দাহ্য এবং দহনে তাপ উৎপন্ন করে। এই জন্য গ্যাসীয় জ্বালানী রূপে এটিকে ব্যবহার করা হয়। প্রোডিউসার গ্যাস (প্রধানতঃ CO এবং N-এর মিশ্রণ), ওয়াটার গ্যাস (প্রধানতঃ হাইড্রোজেন ও CO-এর মিশ্রণ) প্রভৃতি গ্যাসীয় জ্বালানীর উপাদান এই কার্বন মনোক্সাইড। (iii) ফিসার-ট্রপশ্ (Fischer—Tropsh) পদ্ধতিতে কোবাল্ট ও থোরিয়াম অক্সাইডের উপস্থিতিতে CO ও হাইড্রোজেন গ্যাসের সংযোগ ঘটিয়ে হাইড্রোকার্বন শ্রেণীর জৈব যৌগ উৎপন্ন করা হয় ; ZnO যদি অনুঘটকরূপে ব্যবহৃত হয় তবে উৎপন্ন হয় মিথাইল অ্যালকোহল। $CO+2H_2=CH_3OH$। এভাবে উৎপন্ন হাইড্রোকার্বনগুলি সাধারণতঃ জ্বালানীরূপে ব্যবহৃত হয়।

13.2 কার্বন ডাইঅক্সাইড (Carbon dioxide ; CO_2) ঃ

বিজ্ঞানী ভ্যান হেলমণ্ট (Van Helmont, 1630) সর্বপ্রথম কার্বনের এই অক্সাইড তৈরী করেন। বায়ুতে, খনিতে "ব্ল্যাক ড্যাম্প" এবং প্রাণী ও উদ্ভিদের নিশ্বাসে এই গ্যাসটি পাওয়া যায়।

প্রস্তুতি ঃ (i) কার্বনকে বায়ুতে দহন করলে কার্বন বায়ুর অক্সিজেন

কর্তৃক জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডে রূপান্তরিত হয়। কার্বন মনোক্সাইডকে জারিত করেও এই গ্যাস তৈরী করা যায়।

$$2CO+O_2=2CO_2 \quad C+O_2=CO_2$$

কার্বন-ঘটিত যৌগ জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্স ইড উৎপন্ন করে।

$C_6H_{12}O_6$ (গ্লুকোস) $+6O_2=6CO_2+6H_2O+674000$ Calories

(ii) ধাতব কার্বনেট ও বাইকার্বনেট (ক্ষারীয় এবং বেরিয়াম ধাতুর কার্বনেট ব্যতীত) উত্তাপে বিয়োজিত হয়ে CO_2 উৎপন্ন করে।

$$CaCO_3=CaO+CO_2\ ;\ Ca(HCO_3)_2=CaCO_3+H_2O+CO_2$$

$$2KHCO_3 \rightleftharpoons K_2CO_3+H_2O+CO_2$$

(iii) বিভিন্ন শিল্প পদ্ধতির উপজাত (By-product) হিসাবে কার্বন ডাইঅক্সাইড পাওয়া যায়। যেমন, চক ($CaCO_3$) থেকে চুন প্রস্তুতির সময় CO_2 উপজাতরূপে উৎপন্ন হয়। চিনির সন্ধান-ক্রিয়ার (Fermentation) সময়ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উদ্ভূত হয়।

$$C_6H_{12}O_6=2C_2H_5OH \quad +2CO_2$$

(iv) **পরীক্ষাগারের পদ্ধতি : নীতি :** লঘু অ্যাসিড ও ধাতব কার্বনেট বা বাইকার্বনেট যৌগের বিক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$2H^+ + CO_3'' \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O+CO_2$$

$$H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O+CO_2$$

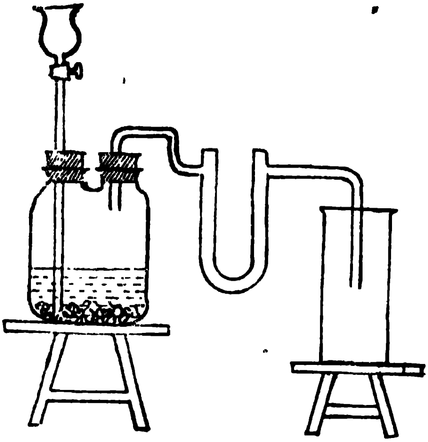
পরীক্ষাগারে মার্বেল পাথরের টুকরার সঙ্গে লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করা হয়। বিক্রিয়া সাধারণ উষ্ণতায় ঘটে।

$$CaCO_3+2HCl=CaCl_2+H_2O+CO_2$$

পরীক্ষা : উল্‌ফ্‌ বোতলে লওয়া হয় কিছু মার্বল (ক্যালসিয়াম কার্বনেট)। উল্‌ফ্‌ বোতলের একমুখে ছিপির সাহায্যে লাগানো হয় একটি দীর্ঘ-নল ফানেল, অপর মুখে ছিপির সাহায্যে একটি নির্গম-নল। নির্গম-নলের অপর প্রান্ত যুক্ত থাকে সোডিয়াম বাইকার্বনেট-দ্রবণযুক্ত U-টিউবের একটি বাহুর সঙ্গে। U-টিউবের অপর বাহু থেকে বেরিয়ে আসে আর একটি নল যা একটি খালি সোজা গ্যাসজারে প্রবেশ করানো থাকে। দীর্ঘ-নল ফানেল দিয়ে ঢালা হয় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণ (13.2.1 নং চিত্র)।

পরিশোধন এবং সংগ্রহ : উৎপন্ন CO_2 নির্গমনল পথে বেরিয়ে এসে প্রবেশ করে U-টিউবে। এই CO_2-এর সঙ্গে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের গ্যাস

মিশ্রিত থাকে বলেই উৎপন্ন CO_2-কে সোডিয়াম বাইকার্বনেট দ্রবণের মধ্যে চালনা করা হয়। HCl বাইকার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় CO_2 উৎপন্ন করে



13.2. নং চিত্র

($NaHCO_3 + HCl = NaCl + H_2O + CO_2$)। এইভাবে HCl-মুক্ত কার্বন ডাইঅক্সাইডকে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে চালনা করে শুষ্ক করা হয়। এইবার, বায়ুর চেয়ে ভারী বলে, গ্যাসটিকে বায়ুর ঊর্ধ্বাপসারণ দ্বারা সংগৃহীত হয়।

ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ কার্বন ডাইঅক্সাইড একটি বর্ণহীন, গন্ধহীন গ্যাস। এর সামান্য অম্ল স্বাদ আছে। জলে এটি দ্রবীভূত হয়: 0°C উষ্ণতায় 1 আয়তন জল প্রায় 1·7 আয়তন CO_2 দ্রবীভূত করতে পারে। এর সংকট উষ্ণতা 31°C এবং সংকট চাপ 72·8 অ্যাটমসফিয়ার। অর্থাৎ 31°C উষ্ণতার নীচে 72·8 অ্যাটমসফিয়ার চাপে গ্যাসটিকে তরলে পরিণত করা যায়। উষ্ণতা 0°C রাখলে 40 অ্যাটমসফিয়ার চাপেই তরলীকরণ সম্ভব। তরল CO_2-কে বাষ্পীভূত করলে কিছুটা বাষ্পাভূত হওয়ার পর এর কঠিনীভবন (Solidification) ঘটে। কঠিন CO_2 দেখতে বরফের মত বলে এর নাম "শুষ্ক বরফ" (Dry ice)। কঠিন CO_2 ও ইথারের মিশ্রণ −100°C উষ্ণতা সৃষ্টি করে বলে হিমায়ন-কার্যে (Refrigeration) ব্যবহৃত হয়। গ্যাসটি বিষাক্ত না হলেও কার্বন ডাই-অক্সাইড-পূর্ণ ঘরে প্রাণীর মৃত্যু ঘটে। বায়ু থেকে ভারী বলে অক্সিজেন CO_2-এর আস্তরণ ভেদ করে

প্রবেশ করতে পারে না। ফলে প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের অভাবে মৃত্যু ঘটে।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) গ্যাসটি দাহ্যও নয় দহনের সহায়কও নয়। জ্বলন্ত Na, K, Mg প্রভৃতি ধাতু CO_2-পূর্ণ গ্যাসজারে জ্বলে উঠে। কারণ জ্বলন্ত অবস্থায় CO_2 কর্তৃক ধাতুগুলি জারিত হয় এবং CO_2 নিজে কার্বনে বিজারিত হয়। $4Na+3CO_2=2Na_2CO_3+C$

পরীক্ষা ঃ CO_2-পূর্ণ একটি গ্যাসজারে জ্বলন্ত Mg-এর তার প্রবেশ করলে তারটি জ্বলতে থাকে এবং জারটি ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইডের সাদা ধোঁয়ায় পূর্ণ হয়ে যায়। এইবার জারটিতে জল দিয়ে ঝাঁকিয়ে তাতে লাল লিটমাস দ্রবণ যোগ করলে তা নীল হয়ে যায় (ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইডের জলীয় দ্রবণ ক্ষারকীয় বলে এটি হয়) এবং দ্রবণে কালো কার্বন কণা দেখা যায়।

$$2Mg+CO_2=2MgO+C$$

(ii) এটি একটি আম্লিক অক্সাইড এবং জলীয় দ্রবণে উৎপন্ন করে কার্বনিক অ্যাসিড। এজন্য CO_2-এর জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে।

$$CO_2+H_2O=H_2CO_3$$

কার্বনিক অ্যাসিড একটি মৃদু দ্বিক্ষারকীয় অ্যাসিড। জলীয় দ্রবণে এটি নিম্নলিখিত ভাবে আয়নিত হয় :—

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^- ; \quad HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{=}$$

ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কার্বনিক অ্যাসিড কার্বনেট এবং বাইকার্বনেট লবণ উৎপন্ন করে। এগুলি ক্ষারকীয়।

আম্লিক অক্সাইড বলে কার্বন ডাইঅক্সাইড ক্ষারকের সঙ্গে এবং ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে।

$$CaO+CO_2=CaCO_3 ; \quad Na_2O+CO_2=Na_2CO_3$$

$$CO_2+Ca(OH)_2=CaCO_3+H_2O ; \quad 2KOH+CO_2=K_2CO_3+H_2O$$

কার্বনেটগুলি অতিরিক্ত CO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় বাইকার্বনেট উৎপন্ন করে।

$$CaCO_3+H_2O+CO_2=Ca(HCO_3)_2$$

$$Na_2CO_3+H_2O+CO_2=2NaHCO_3$$

(iii) উত্তপ্ত কার্বন, জিঙ্ক, লোহা ইত্যাদির উপর প্রবাহিত করলে CO_2 বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে রূপান্তরিত হয়।

$$CO_2+C=2CO ; \quad CO_2+Zn=ZnO+CO$$

বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সাহায্যে অথবা উচ্চ উষ্ণতায় গ্যাসটি বিয়োজিত হয়ে CO-এ রূপান্তরিত হয়। $2CO_2 \rightleftharpoons 2CO + O_2$

উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বিয়োজনের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। 2000°C উষ্ণতায় শতকরা 2·05 ভাগ বিয়োজন ঘটে, কিন্তু 3000°C উষ্ণতায় বিয়োজন বৃদ্ধি পেয়ে হয় প্রায় 54·8%।

(iv) উদ্ভিদের সবুজ অংশগুলিতে ক্লোরোফিল (Chlorophyll) বলে একটি জৈব পদার্থ আছে। ক্লোরোফিলের উপস্থিতিতে সূর্যালোকের প্রভাবে উদ্ভিদ কার্বন ডাইঅক্সাইড ও জলের সংযোগ ঘটিয়ে শ্বেতসার (Carbohydrate) জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন করে।

$$n\,CO_2 + nH_2O + \text{সূর্যালোক} = (CH_2O)_n + O_2$$

সনাক্তকরণঃ (i) জ্বলন্ত কাঠি CO_2-পূর্ণজারে নিভে যায়। (ii) চুন-জলকে ঘোলা করে। অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম কার্বনেটের জন্য স্বচ্ছ চুন-জল ঘোলা হয়। এই অদ্রাব্য পদার্থ'কে পরিস্রাবণ করে আলাদা করে HCl-এ দ্রবীভূত করে ব্রোমিন-জলের উপস্থিতিতে বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে কোনো অধঃক্ষেপ তৈরী হয় না। (iii) জ্বলন্ত Mg-এর তার এই গ্যাসে জ্বলে ওঠে।

ব্যবহারঃ (i) হিমায়ন কার্যে কঠিন কার্বন ডাইঅক্সাইড ব্যবহৃত হয়। (ii) অগ্নি নির্বাপক হিসাবেও এর ব্যবহার আছে। যেখানে আগুন ধরে সেখানে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস ছড়িয়ে দিলে তা আগুনের চারধারে একটি গ্যাসীয় আস্তরণ সৃষ্টি করে। এই গ্যাস বায়ু অপেক্ষা ভারী বলে বায়ুর অক্সিজেন এই আস্তরণ ভেদ করে আগুনের কাছে পৌঁছতে পারে না। ফলে অক্সিজেনের অভাবে আগুন নিভে যায়। (iii) লিমনেড ও সোডা ওয়াটারে উচ্চচাপে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস দ্রবীভূত করে ব্যবহার করা হয়। এজাতীয় জলকে কৃত্রিম খনিজ জল বলে। এই জল হজমের সহায়ক। (iv) সোডিয়াম কার্বনেট, স্যালিসাইলিক অ্যাসিড, হোয়াইট লেড, অ্যামোনিয়াম সালফেট ইত্যাদির শিল্প উৎপাদনে এই গ্যাস ব্যবহৃত হয়।

13.3 সিলিকন ডাইঅক্সাইড (Silicon dioxide ; SiO_2) ঃ সিলিকন ডাইঅক্সাইডকে সিলিকাও বলা হয়। এটি প্রকৃতিতে নিয়তাকার (Crystalline) এবং অনিয়তাকার (Amorphous) দুইভাবেই থাকে। কোয়ার্টজ্ (Quartz), ট্রাইডিমাইট (Tridymite) এবং ক্রিস্টোবালাইট (Cristobalite) এই তিনটি নিয়তাকার সিলিকা। ওপাল (Opal),

অ্যাগেট (Agate) এবং ফ্লিন্ট্ (Flint) হচ্ছে অনিয়তাকার সিলিকা। প্রতিটি নিয়তাকার সিলিকা আবার বিভিন্নরূপে থাকে। যেমন, কোয়ার্টজ্ থাকে তিন রূপে—অ্যামেথিস্ট, ক্যাটস্ আই এবং বালি। শিলার (Rock) অন্যতম উপাদান কোয়ার্টজ্। জল এবং বায়ুর ঘর্ষণে ক্ষয় হয়ে হয়ে তা বালিতে রূপ গুরিত হয়।

প্রস্তুতি ঃ (i) অনিয়তাকার সিলিকনকে অক্সিজেনে উত্তপ্ত করলে সিলিকন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। $Si+O_2=SiO_2$

(ii) সিলিকেট খনিজকে সোডিয়াম কার্বনেটের সঙ্গে গলিয়ে তৈরী করা হয় সোডিয়াম সিলিকেট। জল দিয়ে উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম সিলিকেট জলে দ্রবীভূত হয়ে যায়। এই দ্রবণে HCl যোগ করলে সিলিসিক অ্যাসিড অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং পরিস্রাবণ পদ্ধতিতে তা পৃথক করে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে সিলিকন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$MgSiO_3 \text{ (ম্যাগনেসিয়াম সিলিকেট) } + Na_2CO_3 = MgCO_3 + Na_2SiO_3$$

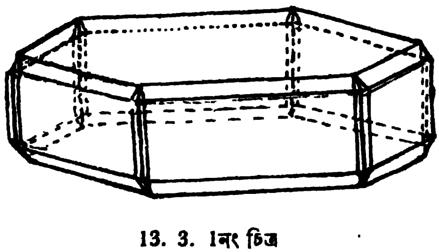
$$Na_2SiO_3+2HCl=2NaCl+H_2SiO_3\ ;\quad H_2SiO_3=H_2O+SiO_2$$

(iii) অনিয়তাকার উত্তপ্ত Si-এর উপর ক্লোরিন চালনা করলে তরল সিলিকন টেট্রাক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। এই সিলিকন টেট্রাক্লোরাইড জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অর্থো-সিলিসিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। অর্থো-সিলিসিক অ্যাসিড, $Si(OH)_4$, তীব্র উত্তাপে বিয়োজিত হয়ে SiO_2 উৎপন্ন করে।

$$Si+2Cl_2=SiCl_4\ ;\quad SiCl_4+4H_2O=4HCl+Si(OH)_4$$

$$Si(OH)_4=2H_2O+SiO_2$$

ধর্ম ঃ (a) **ভৌত ধর্ম ঃ** সিলিকা সাধারণ উষ্ণতায় একটি কঠিন পদার্থ। বিশুদ্ধ সিলিকা একটি সাদা পদার্থ। কিন্তু অবিশুদ্ধ অবস্থায় এর বিভিন্ন বর্ণ



13. 3. 1নং চিত্র

হয়। যেমন, সাধারণ বালি বাদামী বর্ণের হয়ে থাকে। ফেরিক অক্সাইডের উপস্থিতির জন্যই বাদামী বর্ণ হয়। এর গলনাঙ্ক 1610°C থেকে 1713°C

পর্যন্ত হয়। জলে বা অন্য যে-কোনো দ্রাবকে অদ্রাব্য। নিয়তাকার সিলিকা বিভিন্ন স্ফটিকরূপে থাকে। যেমন, ট্রাইডিমাইট ষড়ভুজাকৃতি স্ফটিকরূপে বর্তমান থাকে (13. 3. 1নং চিত্র)। অনিয়তাকার সিলিকা গলনের পূর্বমুহূর্তে প্লাস্টিকের মত নরম হয়ে যায়। অনিয়তাকার সিলিকা থেকে তৈরী হয় সিলিকা গ্লাস যার আয়তন প্রসারণ গুণাংক অত্যন্ত কম।

(b) রাসায়নিক ধর্মঃ (i) সিলিকন ডাইঅক্সাইড একটি আম্লিক অক্সাইড, কিন্তু জলে অদ্রবণীয়। এর কারণ SiO_2-এর গঠন বৃহৎ এবং জটিল। ক্ষারকের সঙ্গে এটি বিক্রিয়া করে।

$$2NaOH + SiO_2 = Na_2SiO_3 + H_2O$$

(ii) হাইড্রোফ্লুয়োরিক অ্যাসিড ব্যতীত আর কোনো অ্যাসিডের সঙ্গে এর বিক্রিয়া হয় না। $SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O$

এইজন্য সিলিকার তৈরী জিনিসপত্রে দাগ কাটার জন্য HF-এর দ্রবণ ব্যবহার করা হয়।

(iii) সিলিকা ও কোকের মিশ্রণকে শ্বেত-তপ্ত অবস্থায় ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করতে দিলে সিলিকন টেট্রাক্লোরাইড নামে একটি উদ্বায়ী তরল উৎপন্ন হয়। $SiO_2 + 2C + 2Cl_2 = SiCl_4 + 2CO$

(iv) SiO_2 সোডিয়াম সালফেটের সঙ্গে উচ্চ উষ্ণতায় বিক্রিয়া করে সোডিয়াম সিলিকেট তৈরী করে। $Na_2SO_4 + SiO_2 = Na_2SiO_3 + SO_3$

ফেরিক অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সিলিকা ফেরিক সিলিকেট তৈরী করে।

$$3SiO_2 + Fe_2O_3 = Fe_2(SiO_3)_3$$

সিলিকা ক্যালসিয়াম কার্বনেটের সঙ্গে তৈরী করে ক্যালসিয়াম সিলিকেট।

$$CaCO_3 + SiO_2 = CaSiO_3 + CO_2$$

ব্যবহারঃ কোয়ার্টজ্ স্বচ্ছ অবস্থায় পাওয়া যায়। এটিতে লেন্স, প্রিজম, ইত্যাদি তৈরী হয়। আল্ট্রাভায়োলেট (Ultra violet) রশ্মি কোয়ার্টজের মধ্যে চলাচল করতে পারে বলে যে-সকল পরীক্ষা নিরীক্ষায় আল্ট্রাভায়োলেট রশ্মি ব্যবহৃত হয় সে-সব স্থানে কোয়ার্টজের জিনিসপত্র ব্যবহার করা হয়। বর্ণযুক্ত স্বচ্ছ কোয়ার্টজ্ রত্ন হিসাবে ব্যবহৃত হয়। যেমন, বেগুনী বর্ণের কোয়ার্টজ্ অ্যামেথিস্ট। মর্টারে, পোর্সিলেনে, কাঁচ-তৈরীতে, সিলিকা-ইট তৈরীতে, বালি ব্যবহৃত হয়। বর্তমানে অতিবিশুদ্ধ সিলিকা সেমি কণ্ডাক্টাররূপে (Semi-conductor) ব্যবহৃত হচ্ছে।

সনাক্তকরণ : CaF_2 ও গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে সিলিকা উত্তপ্ত করলে সিলিকন টেট্রাফ্লুরাইডের বাষ্প উদ্ভূত হয়। এই বাষ্পকে জলের মধ্যে চালনা করলে তা মোমের মত অসচ্ছ ও শক্ত হয়ে যায়।

$$SiO_2+2CaF_2+2H_2SO_4=2CaSO_4+SiF_4+2H_2O$$
$$3SiF_4+4H_2O=H_4SiO_4+2H_2(SiF_6)$$

CO_2-এর সঙ্গে SiO_2-এর তুলনা (Comparison between CO_2 and SiO_2) : C এবং Si পর্যায় সরণীতে একই গ্রুপে বর্তমান। অতএব তাদের ধর্মের মধ্যে যথেষ্ট সাদৃশ্য থাকা উচিত। বাস্তবে দেখা যায়, এই দুইটি অক্সাইডের ধর্মে বহু মিল ও অমিল বর্তমান। নিম্নে তাদের ধর্মের তুলনা-মূলক আলোচনা করা হল :

কার্বন ডাইঅক্সাইড	সিলিকন ডাইঅক্সাইড
(i) সাধারণ উষ্ণতায় এটি একটি গ্যাস।	(i) সাধারণ উষ্ণতায় এটি একটি কঠিন।
(ii) এর অণুর গঠন সরল এবং রৈখিক (Linear)।	(ii) এর অণুর গঠন জটিল এবং ত্রিমাত্রিক (Three dimensional)।
(iii) এটি একটি আম্লিক অক্সাইড।	(iii) এটিও আম্লিক অক্সাইড।
(iv) জলে প্রচুর পরিমাণে দ্রবনীয় এবং জলীয় দ্রবণ আম্লিক। কারণ জলের সঙ্গে CO_2 কার্বনিক অ্যাসিড তৈরী করে : $CO_2+H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO'_3$	(iv) জলে অদ্রাব্য।
(v) ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ উৎপন্ন করে : $2KOH+CO_2=K_2CO_3+H_2O$; $2NaOH+CO_2=Na_2CO_3+H_2O$ সাধারণ উষ্ণতায়ই বিক্রিয়া দ্রুত।	(v) এটিও ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ উৎপন্ন করে : $2NaOH+SiO_2=Na_2SiO_3+H_2O$ সাধারণ উষ্ণতায় বিক্রিয়ার গতি ধীর। উচ্চ উষ্ণতায় গতি দ্রুত হয়।
(vi) কোনো অ্যাসিডের সঙ্গে এটি বিক্রিয়া করে না।	(vi) HF-এর সঙ্গে এটি বিক্রিয়া করে : $SiO_2+4HF=SiF_4+2H_2O$

কার্বন ডাইঅক্সাইড	সিলিকন ডাইঅক্সাইড
(vii) কার্বন ডাইঅক্সাইড কার্বন কর্তৃক বিজারিত হয়ে CO-এ রূপান্তরিত হয়: $CO_2+C=2CO$	(vii) SiO_2-এর ক্ষেত্রেও একই বিক্রিয়া ঘটে। $SiO_2+Si=2SiO$
(viii) CO_2-এর জারণ ধর্ম আছে $CO_2+2Mg=C+2MgO$ উচ্চতর উষ্ণতায় এই বিক্রিয়া ঘটে।	(viii) SiO_2-এরও জারণ ধর্ম বর্তমান: $SiO_2+2Mg=Si+2MgO$ $3SiO_2+4Al=2Al_2O_3+3Si$ এখানেও উচ্চতর উষ্ণতায় এই বিক্রিয়া ঘটে।

13.4 নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ (Oxides of nitrogen): মৌল অবস্থায় নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা—0, কিন্তু অন্য মৌলের সঙ্গে যুক্তাবস্থায় এর জারণ-সংখ্যা, +I, +II, +III, +IV, +V এবং —III হয়ে থাকে। তাই, অধাতু অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নাইট্রোজেন সাধারণভাবে পাঁচ রকমের অক্সাইড গঠন করে। যথা: নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O); নাইট্রিক অক্সাইড (NO); ডাইনাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইড (N_2O_3); নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (N_2O_4); নাইট্রোজেন পেন্টক্সাইড (N_2O_5)। অক্সাইডগুলির মধ্যে টেট্রক্সাইড ও পেন্টক্সাইড যথাক্রমে তরল ও কঠিন পদার্থ; বাকী অক্সাইডগুলি গ্যাসীয়।

I. নাইট্রাস অক্সাইড (Nitrous oxide; N_2O): 1772 খ্রীষ্টাব্দে প্রিস্টলি ভিজে লোহার সঙ্গে নাইট্রিক অক্সাইডের বিক্রিয়ায় সর্বপ্রথম নাইট্রাস অক্সাইড প্রস্তুত করেন।

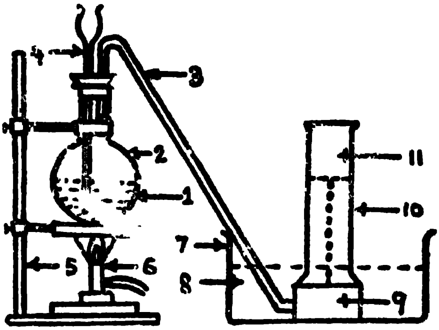
প্রস্তুতি: (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি: অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট বা অ্যামোনিয়াম সালফেট ও সোডিয়াম নাইট্রেটের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে নাইট্রাস অক্সাইড প্রস্তুত করা হয়।

$$(NH_4)_2SO_4+2NaNO_3=Na_2SO_4+2NH_4NO_3$$

$$NH_4NO_3 \overset{200°C}{=} N_2O+2H_2O$$

তাপমাত্রা খুব বেশী হলে অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট বিস্ফোরণ সহকারে বিয়োজিত হয়। তাই তাপমাত্রা সাধারণতঃ 290°C-এর কম রাখা উচিত।

দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নলযুক্ত ফ্লাস্কে অ্যামোনিয়াম সালফেট ও সোডিয়াম নাইট্রেট নিয়ে তাপ দেওয়া হয়। নির্গম-নলের খোলা মুখটি একটি গরম জল ভর্তি গ্যাস দ্রোণীতে রাখা মধু-কোষ পাত্রের উপর বসিয়ে দিলে গরম জলের নিম্নাপসারণ দ্বারা N_2O গ্যাস গ্যাসজারে জমা হয় (13.4. 1নং চিত্র)।



1. মিশ্রণ 2. ফ্লাস্ক 3. নির্গম-নল 4. দীর্ঘ-নল ফানেল 5. ধারক 6. বার্ণার 7. গ্যাসদ্রোণী 8. জল 9. মধুকোষ পীঠ 10. গ্যাসজার 11. নাইট্রাস অক্সাইড 13. 4. 1নং চিত্র

বি. দ্র.—গ্যাসটি ঠাণ্ডা জলে অত্যন্ত দ্রাব্য। তাই একে গরম জলের উপর সংগ্রহ করা হয়।

বিশুদ্ধকরণঃ উৎপন্ন N_2O গ্যাস বিশুদ্ধ নয়। এতে ক্লোরিন, জলীয় বাষ্প, অ্যামোনিয়া, নাইট্রোজেন, NO ও NO_2 গ্যাস মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসকে পর্যায়ক্রমে কষ্টিক সোডা দ্রবণের মধ্যে প্রবাহিত করে ক্লোরিন গ্যাস ও NO_2-কে, গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে প্রবাহিত করে জলীয় বাষ্প ও অ্যামোনিয়াকে এবং $FeSO_4$ দ্রবণের মধ্যে প্রবাহিত করে NO কে দূর করা হয়। বিশুদ্ধ গ্যাসটিকে তখন পারদের নিম্নাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

(2) হাইড্রক্সিল-অ্যামিন হাইড্রোক্লোরাইড দ্রবণ সোডিয়াম নাইট্রাইট দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিশুদ্ধ N_2O গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$NH_2OH, HCl + NaNO_2 = N_2O + NaCl + 2H_2O$$

কপার সালফেট, পারম্যাঙ্গানেট ও ফেরিক ক্লোরাইড প্রভৃতি দ্বারাও হাইড্রক্সিল-অ্যামিন জারিত হয় এবং N_2O উৎপন্ন হয়।

(3) আর্দ্র নাইট্রিক অক্সাইড বা নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করেও N_2O গ্যাস তৈরী করা যায়।

$$2NO + SO_2 + H_2O = H_2SO_4 + N_2O$$

$$4Zn + 10HNO_3 \text{ (লঘু)} = 4Zn(NO_3)_2 + 5H_2O + N_2O$$

$$4SnCl_2 + 2HNO_3 \text{ (গাঢ়)} + 8HCl \overset{\text{তাপ}}{=} 4SnCl_4 + 5H_2O + N_2O$$

ধর্ম ঃ (a) ভৌত ধর্ম ঃ (i) গ্যাসটি বর্ণহীন, মৃদু মিষ্ট গন্ধযুক্ত এবং জলে দ্রাব্য। (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে প্রায় দেড়গুণ ভারী। এটি একটি প্রশম অক্সাইড ; স্ফুটনাঙ্ক $-88\cdot7°C$ ও গলনাঙ্ক $-90\cdot8°C$। (iii) এই গ্যাসের শ্বাস নিলে হাসির উদ্রেক হয়। আবার বেশী পরিমাণে এটি গ্রহণ করলে মানুষ অজ্ঞান হয়ে পড়ে। এইজন্য এটিকে লাফিং গ্যাসও বলা হয়।

(b) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) এই গ্যাস দাহ্য নয় কিন্তু দহনে সহায়তা করে। 600°C উষ্ণতার বেশী তাপমাত্রায় নাইট্রাস অক্সাইড বিয়োজিত হয়ে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনে পরিণত হয়। এই উৎপন্ন অক্সিজেনই দহনে সহায়তা করে। $2N_2O = 2N_2 + O_2$; প্রজ্বলিত সোডিয়াম, ফসফরাস, কার্বন, সালফার, পটাসিয়াম প্রভৃতি এই গ্যাসের ভিতর উজ্জ্বল শিখায় জ্বলতে থাকে এবং তাদের অক্সাইড গঠন করে।

$$2P + 5N_2O = P_2O_5 + 5N_2 ; \quad S + 2N_2O = SO_2 + N_2$$

$$C + 2N_2O = CO_2 + 2N_2 ; \quad 2Na + N_2O = Na_2O + N_2$$

লোহিত-তপ্ত কপার দ্বারা N_2O বিজারিত হয়। $N_2O + Cu = CuO + N_2$

অক্সিজেনের সঙ্গে নাইট্রাস অক্সাইডের ধর্মের যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে। কিন্তু নাইট্রাস অক্সাইড ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে দ্রবীভূত হয় না এবং NO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে বাদামী NO_2 গ্যাস উৎপন্ন করে না।

(ii) নাইট্রাস অক্সাইড উত্তপ্ত সোডামাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সোডিয়াম অ্যাজাইড (N_3Na) উৎপন্ন করে। $N_2O + NaNH_2 = N_3Na + H_2O$

সনাক্তকরণ ঃ এটি বর্ণহীন মৃদু গন্ধযুক্ত গ্যাস। অক্সাইডটির জলীয় দ্রবণ লিটমাসের সঙ্গে বিক্রিয়াহীন।

ব্যবহার ঃ বিশুদ্ধ নাইট্রাস অক্সাইড গ্যাস শল্য-চিকিৎসায় (বিশেষত দাঁত তুলতে) নিশ্চেতক (Anaesthetic) রূপে ব্যবহৃত হয়।

II. নাইট্রিক অক্সাইড (Nitric oxide ; NO) ঃ 1772 খ্রিষ্টাব্দে প্রিষ্টলি কপার বা পারদের সঙ্গে লঘু নাইট্রিক অক্সাইডের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক-অক্সাইড গ্যাস প্রস্তুত করেন।

বায়ুতে সামান্য পরিমানে এই গ্যাসটি আছে। বজ্রপাতের সময় যে প্রচণ্ড উষ্ণতার সৃষ্টি হয় তাতে বায়ুমণ্ডলীয় নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন যুক্ত হয়ে গ্যাসটি উৎপন্ন করে।

প্রস্তুতি ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ সাধারণ উষ্ণতায় জিঙ্ক বা

কপারের সঙ্গে লঘু ও ঠাণ্ডা নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$3M+8HNO_3=3M(NO_3)_2+4H_2O+2NO$$ [M=Zn বা Cu]

দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নলযুক্ত একটি ফ্লাস্কে কিছুটা তামার ছিবড়ে নিয়ে দীর্ঘ-নল ফানেলের সাহায্যে ফ্লাস্কে 1 : 1 আয়তনে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও জলের মিশ্রণ ঢালা হয়। ফলে নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসকে জলের নিম্নাপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয় (13.4.1 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)।

বিশুদ্ধিকরণ : উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস বিশুদ্ধ নয়। এতে নাইট্রোজেন ও নাইট্রাস অক্সাইড মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসকে ঠাণ্ডা ও সংপৃক্ত ফেরাস সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। গ্যাস মিশ্রণের নাইট্রিক অক্সাইড ঐ দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে ফেরাস নাইট্রোসিল সালফেটের, $[Fe(NO)]SO_4$, গাঢ় বাদামী দ্রবণ তৈরী করে। এই গাঢ় বাদামী দ্রবণকে অল্প উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই বিশুদ্ধ গ্যাসকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করে পারদের নিম্নাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

$$FeSO_4+NO \rightleftharpoons [Fe(NO)]SO_4$$

(2) পটাসিয়াম নাইট্রেট, লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড ও ফেরাস সালফেটের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে বা অম্লীকৃত ফেরাস ক্লোরাইডের দ্রবণকে সোডিয়াম নাইট্রেটের সঙ্গে উত্তপ্ত করে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস প্রস্তুত করা যায়।

$$6FeSO_4+2HNO_3+3H_2SO_4=3Fe_2(SO_4)_3+2NO+4H_2O$$

$$3FeCl_2+NaNO_3+4HCl=3FeCl_3+NaCl+2H_2O+NO$$

(3) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিড মিশ্রণের সঙ্গে পারদ মিশিয়ে ঝাঁকালে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2HNO_3+6Hg+3H_2SO_4=2NO+3Hg_2SO_4+4H_2O$$

(4) সোডিয়াম নাইট্রাইটের জলীয় দ্রবণে (1:4) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ফোঁটা ফোঁটা করে ঢাললে বিশুদ্ধ NO উৎপন্ন হয়।

$$3NaNO_2+3H_2SO_4=3NaHSO_4+HNO_3+2NO+H_2O$$

ধর্ম : (a) ভৌত ধর্ম : (i) এটি বর্ণহীন, বিষাক্ত গ্যাস ; স্ফুটনাঙ্ক $-152^{\circ}C$, গলনাঙ্ক $-164^{\circ}C$। (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে ভারী (সাধারণ

উষ্ণতায় ঘনত্ব 1·3402g/l ও জলে সামান্য পরিমাণে দ্রবীভূত হয়। (iii) এটি একটি প্রশম অক্সাইড।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) নাইট্রিক অক্সাইড দাহ্য নয় এবং দহনে সহায়তা করে না। তবে 1000°C-র বেশী তাপমাত্রায় প্রজ্বলিত ফসফরাস বা ম্যাগনেসিয়াম ও স্ফুটনশীল জ্বলন্ত সালফার এই গ্যাসে উজ্জ্বল শিখায় জ্বলতে থাকে। 1000°C উষ্ণতায় NO বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন গঠন করে। এই অক্সিজেন দহনে সহায়তা করে।

$$2NO = N_2 + O_2\ ;\ 4P + 10NO = 2P_2O_5 + 5N_2$$

(ii) এই গ্যাস অক্সিজেন ও ক্লোরিনের (চারকোল অনুঘটকের উপস্থিতিতে) সঙ্গে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড ও নাইট্রোসিল ক্লোরাইড (NOCl) গঠন করে।

$$2NO + O_2 = 2NO_2\ ;\ \ 2NO + Cl_2 = 2NOCl$$

(iii) নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস ঠাণ্ডা ফেরাস সালফেট দ্রবণে শোষিত হয়ে গাঢ় বাদামী বর্ণের দুস্থিত ফেরাস নাইট্রোসিল সালফেট যৌগ গঠন করে; তাপ দিলেই এটি বিয়োজিত হয় এবং NO গ্যাস নির্গত হতে থাকে।

$$[Fe\ (NO)]SO_4 \rightleftharpoons FeSO_4 + NO$$

(iv) উত্তপ্ত প্লাটিনাম অনুঘটকের উপর দিয়ে নাইট্রিক অক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণ প্রবাহিত করলে নাইট্রিক অক্সাইড অ্যামোনিয়াতে বিজারিত হয়।

$$2NO + 5H_2 = 2NH_3 + 2H_2O$$

(v) নাইট্রাস অক্সাইডের মত নাইট্রিক অক্সাইডও উত্তপ্ত কপার, আয়রন, সোডিয়াম, নিকেল প্রভৃতির দ্বারা নাইট্রোজেনে বিজারিত হয়।

$$2Cu + 2NO = 2CuO + N_2\ ;\ 2Ni + 2NO = 2NiO + N_2$$

(vi) তীব্র জারক পদার্থ যেমন পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও আয়োডিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অক্সাইড বিজারক হিসাবে কাজ করে। এক্ষেত্রে পারম্যাঙ্গানেট ও আয়োডিন দ্রবণ বিজারিত হয়ে বর্ণহীন হয়ে পড়ে, আর নাইট্রিক অক্সাইড জারিত হয়ে পরিণত হয় নাইট্রিক অ্যাসিডে।

$$4H^{+} + 3MnO_4' + 5NO = 3Mn^{++} + 5NO_3' + 2H_2O$$
$$3I_2 + 2NO + 4H_2O = 2HNO_3 + 6HI$$

সনাক্তকরণ : (i) সাধারণ উষ্ণতায় বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড বায়ু বা অক্সিজেনের সংস্পর্শে বাদামীবর্ণের নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড গঠন করে।

(ii) ফেরাস সালফেট দ্রবণে নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস দ্রবীভূত করলে মিশ্রণটি বাদামীবর্ণে পরিণত হয়।

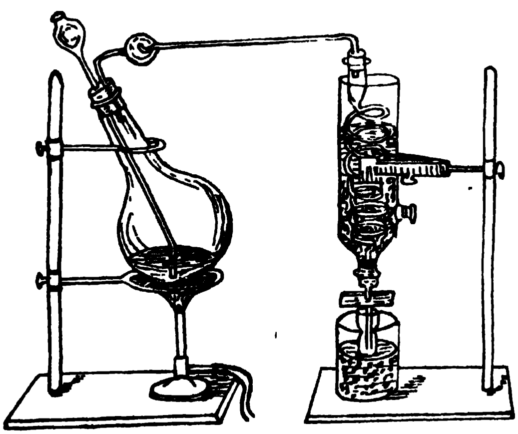
(iii) নাইট্রিক অক্সাইডপূর্ণ গ্যাসজারে কয়েক ফোঁটা কার্বন ডাই-সালফাইড ঢালা হল। এখন এর মধ্যে একটি জ্বলন্ত পাঁটকাঠি প্রবেশ করালে গ্যাসমিশ্রণটি উজ্জ্বল নীল শিখায় জ্বলতে থাকবে।

$$2CS_2+10NO=4SO_2+5N_2+2CO$$

ব্যবহার : প্রকোষ্ঠ-পদ্ধতিতে (Chamber Process) সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনে নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস অক্সিজেন-বাহক (Carrier of oxygen) রূপে কাজ করে।

III. ডাই-নাইট্রোজেন ট্রাই-অক্সাইড (Dinitrogen tri-oxide ; N_2O_3) : এটি নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের একটি দ্বিমৌলিক যৌগ ; আর এক নাম নাইট্রোজেন সেস্কুই (এর অর্থ 2:3 অক্সাইড। এই অক্সাইডটি অম্লধর্মী।

প্রস্তুতি : (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি : আর্সেনিয়াস অক্সাইড বা স্টার্চের সঙ্গে 56% নাইট্রিক অ্যাসিড 1:1 অনুপাতে মিশিয়ে একটি ফ্লাস্কে



13. 4. 2নং চিত্র

পাতিত করা হয় (13. 4. 2নং চিত্র)। ফলে গাঢ় লালবর্ণের ডাই-নাইট্রোজেন ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাসকে একটি হিম মিশ্রাবৃত পাত্রে নিয়ে ঠাণ্ডা করে গাঢ় নীল তরলে পরিণত করা হয়।

$$As_2O_3+2HNO_3+2H_2O=2H_3AsO_4+N_2O_3$$
$$2C_6H_{10}O_5+18HNO_3=9N_2O_3+6(COOH)_2+13H_2O$$

বিঃ দ্রঃ সাধারণ উষ্ণতায় N_2O_3 গ্যাসের প্রায় 90% বিয়োজিত হয়। তাই গ্যাসটিকে তরল হিসাবে সংগ্রহ করা হয়।

(2) কপার ও 6N নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় N_2O_3 গ্যাস উৎপন্ন হয়। $2Cu+6HNO_3=2\,Cu(NO_3)_2+3H_2O+N_2O_3$

(3) নাইট্রিক অক্সাইড ও নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড গ্যাস মিশ্রণকে $-20°C$ উষ্ণতায় ঠাণ্ডা করলে তরল N_2O_3 পাওয়া যায়।

$$NO+NO_2=N_2O_3\ (\text{তরল})$$

(4) তরল বায়ুর মধ্যে বিদ্যুৎ-ক্ষরণ ঘটালে ঈষৎ নীলবর্ণের কঠিন N_2O_3 অধঃক্ষিপ্ত হয়।

ধর্মঃ (a) ভৌত ধর্মঃ গাঢ় লালবর্ণের ডাইনাইট্রোজেন ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস খুব অস্থায়ী। $-30°C$ উষ্ণতায় ঠাণ্ডা করলে গ্যাসটি গাঢ় নীল বর্ণের তরলে পরিণত হয়। বিশুদ্ধ N_2O_3 একটি ঈষৎ নীলবর্ণের কঠিন পদার্থ। এর গলনাঙ্ক $-102°C$।

(b) রাসায়নিক ধর্মঃ (i) গ্যাসটি জলে ও ক্ষারে দ্রবীভূত হয়ে যথাক্রমে নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রাইট লবণ উৎপন্ন করে।

$N_2O_3+H_2O=2HNO_2$; $N_2O_3+2NaOH=2NaNO_2+H_2O$

তাই ডাই-নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইডকে বলা হয় নাইট্রাস অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড।

(ii) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড N_2O_3 গ্যাসকে শোষণ করে। দ্রবণে নাইট্রোসালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$N_2O_3+2H_2SO_4=2SO_2(OH)(NO_2)+H_2O$$

(iii) সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাসীয় ও তরল N_2O_3 বিয়োজিত হয়ে NO ও NO_2 গঠনকরে।

$$N_2O_3 \rightleftharpoons NO+NO_2$$

ব্যবহারঃ নাইট্রাস অ্যাসিড তৈরী করতে এই গ্যাসের প্রয়োজন হয়। এটি থেকে নাইট্রাইট লবণও তৈরী করা যায়।

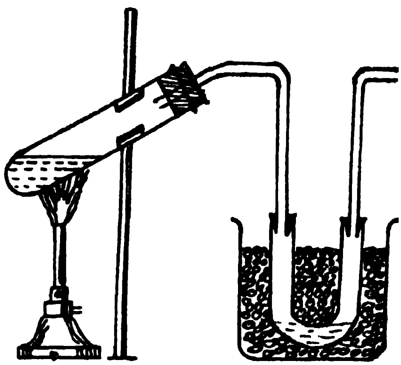
IV. নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড (Nitrogen dioxide ; NO_2) বা ডাই-নাইট্রোজেন টেট্রক্সাইড (Dinitrogen tetroxide ; N_2O_4)ঃ 1777 খ্রীষ্টাব্দে প্রিস্টলি লেড নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে সর্বপ্রথম নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড গ্যাস প্রস্তুত করেন। বায়ুতে সামান্য পরিমাণে এই গ্যাস থাকে। বজ্রপাতের সময় বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন

পরস্পর যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। এই নাইট্রিক অক্সাইড পরে জারিত হয়ে নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডে পরিণত হয়।

প্রস্তুতি : (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি : লেড, কপার প্রভৃতি ভারী ধাতুর নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করলে তা বিয়োজিত হয় এবং নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2Pb(NO_3)_2 = 2PbO + 4NO_2 + O_2$$
$$2Cu(NO_3)_2 = 2CuO + 4NO_2 + O_2$$

লেড নাইট্রেটে কেলাস-জল নেই। তাই সাধারণতঃ শুষ্ক লেড নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড প্রস্তুত করা হয়। নির্গম-নলযুক্ত একটি মোটা ও শক্ত কাচের টেষ্টটিউবে লেড-নাইট্রেটের গুঁড়ো নেওয়া হয়। নির্গম-নলের খোলামুখটি হিম-মিশ্রণের মধ্যে অবস্থিত একটি ইউ-টিউবের সঙ্গে যুক্ত থাকে। টেষ্টটিউবকে আস্তে আস্তে উত্তপ্ত করলে লাল নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেন গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস-মিশ্রণের নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড গ্যাস শীতল ইউ-টিউবে ঘনীভূত হয়ে ঈষৎ হলুদ তরল পদার্থে (N_2O_4) পরিণত হয় এবং অক্সিজেন গ্যাস নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে যায় (13.4.3 নং চিত্র)।



13. 4. 3নং চিত্র

(2) জিঙ্ক ও কপার গাঢ় ও উষ্ণ নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$Zn + 4HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

(3) তাপ দিলে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড বিয়োজিত হয় এবং নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড, অক্সিজেন ও জল উৎপন্ন করে।

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

হিমমিশ্র দ্বারা ঠাণ্ডা করলে জল ও নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড তরলে পরিণত হয়।

(4) নাইট্রোসো-সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে পটাসিয়াম নাইট্রেট মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে N_2O_4 উৎপন্ন হয়।

ধর্ম ঃ (a) **ভৌত ধর্ম ঃ** সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড একটি বাদামী বর্ণের তীব্র গন্ধযুক্ত জলে দ্রাব্য বিষাক্ত গ্যাস। $-9°C$ উষ্ণতায় গ্যাসটি N_2O_4-এর বর্ণহীন স্ফটিকে পরিণত হয়। উষ্ণতা বাড়ালে এই কঠিন পদার্থ আস্তে আস্তে পরিণত হয় ঈষৎ হলুদ তরল পদার্থে যেটি 22°C উষ্ণতায় ফুটতে আরম্ভ করে। এইসময় তরল থেকে লাল বাষ্প নির্গত হয়। উষ্ণতা আরোও বাড়ালে N_2O_4 অণুগুলি NO_2 অণুতে বিয়োজিত হতে থাকে এবং 140°C উষ্ণতায় 100%NO_2 গঠিত হয়। 620°C উষ্ণতায় NO_2 বিয়োজিত হয়ে বর্ণহীন NO ও O_2 উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{কঠিন}}{N_2O_4} \overset{-9°C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{তরল}}{N_2O_4} \overset{22°C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{বাষ্প}}{N_2O_4} \overset{140°C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{গ্যাস}}{2NO_2} \overset{620°C}{\rightleftharpoons} 2NO+O_2$$

(b) **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** (i) গ্যাসটি দাহ্য নয় এবং দহনে সহায়তা করে না। কিন্তু প্রজ্বলিত ফসফরাস, সালফার, কার্বন, পটাসিয়াম প্রভৃতি এই গ্যাসের ভিতর উজ্জ্বল শিখায় জ্বলতে থাকে।

$$8P+10NO_2=4P_2O_5+5N_2\ ;\ K+2NO_2=KNO_3+NO$$

(ii) NO_2 বা N_2O_4 জলে দ্রবীভূত হয়ে নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। তাই এদের বলা হয় মিশ্র অ্যাসিড-অ্যানহাইড্রাইড (Mixed acid-anhydride)। $2NO_2+H_2O=HNO_3+HNO_2$; বেশী তাপমাত্রায় উৎপন্ন নাইট্রাস অ্যাসিড পুনরায় বিয়োজিত হয়।

$$3HNO_2=HNO_3+H_2O+2NO$$

(iii) NO_2 গ্যাস গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডে শোষিত হয়ে নাইট্রোসো-সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$2NO_2+H_2SO_4=SO_2(OH)NO_2+HNO_3$$

ক্ষার দ্রবণের সঙ্গে NO_2 বা N_2O_4 গ্যাস নাইট্রেট ও নাইট্রাইট লবণ গঠন করে।

$$2NO_2+2NaOH=NaNO_2+NaNO_3+H_2O$$

(iv) **জারণক্রিয়া ঃ** NO_2 ও N_2O_4-এ নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা +IV ; কিন্তু নাইট্রোজেনের বিভিন্ন যৌগে নাইট্রোজেনের জারণ-

সংখ্যা +V, +IV, +III, +II, +I এবং −III হতে পারে। আবার মৌল হিসাবে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা 0 ধরা হয়। কাজেই NO_2 ও N_2O_4 সহজে বিজারিত হতে পারে। অর্থাৎ এটি একটি উত্তম জারক দ্রব্য।

(a) পটাসিয়াম আয়োডাইড, হাইড্রোজেন সালফাইড, সালফার ডাই-অক্সাইড (স্টীমের উপস্থিতিতে), কার্বন মনোক্সাইড প্রভৃতি পদার্থ NO_2 বা N_2O_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় জারিত হয়। প্রতিক্ষেত্রেই ডাই বা টেট্রক্সাইড বিজারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$2KI+NO_2+H_2O=2KOH+NO+I_2;H_2S+NO_2=H_2O+NO+S$$

$$NO_2+SO_2+H_2O=H_2SO_4+NO\ ;\ NO_2+CO=NO+CO_2$$

(b) উত্তপ্ত কপার, আয়রন, সোডিয়াম প্রভৃতির দ্বারা গ্যাসটি নাট্রোজেনে বিজারিত হয়। $4Cu+2NO_2=4CuO+N_2$; এই বিক্রিয়ার সাহায্যে নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডের আয়তন সংযুতি নির্ণয় করা যায়।

(c) প্লাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে গ্যাসটি হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং অ্যামোনিয়াতে বিজারিত হয়।

$$2NO_2+7H_2 = 2NH_3+4H_2O$$

সনাক্তকরণঃ (i) নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড একটি তীব্র গন্ধযুক্ত বিষাক্ত গ্যাস। (ii) NO_2 বা N_2O_4-এর জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লালবর্ণে পরিণত করে।

ব্যবহারঃ সালফিউরিক অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনে NO_2 ব্যবহৃত হয়। নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড বা টেট্রক্সাইডকে জলে দ্রবীভূত করলে নাইট্রাস ও নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

V. নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড (Nitrogen pentoxide; N_2O_5) ঃ

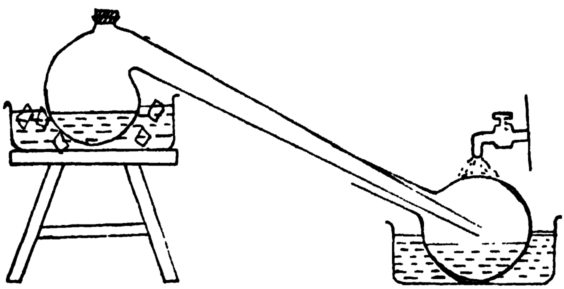
1849 খ্রীষ্টাব্দে ডেভিল (Deville) উত্তপ্ত সিলভার নাইট্রেটের উপর দিয়ে শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাস চালনা করে সর্বপ্রথম নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড প্রস্তুত করেন। $4AgNO_3+2Cl_2=4AgCl+2N_2O_5+O_2$

প্রস্তুতিঃ (1) **পরীক্ষাগারের পদ্ধতিঃ** P_2O_5-দ্বারা গাঢ় নাইট্রিক-অ্যাসিডের নিরুদন ক্রিয়ায় পরীক্ষাগারে নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড তৈরী করা হয়।

$$2HNO_3+P_2O_5=N_2O_5+2HPO_3$$

একটি বকযন্ত্রে (13. 4. 4নং চিত্র) গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও P_2O_5-এর মিশ্রণ লওয়া হয়। বকযন্ত্রটিকে হিম-মিশ্রণের মধ্যে বসি৻

তাপ দিলে নাট্রোজেন পেণ্টক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস ঘনীভূত হয়ে বরফে ঠাণ্ডা-করা গ্রাহকে বর্ণহীন কঠিন পদার্থরূপে জমা হয়।



13. 4. 4নং চিত্র

(2) ঠাণ্ডা নাইট্রোজেন টেট্রক্সাইড তরলের মধ্যে ওজোনযুক্ত অক্সিজেন গ্যাস প্রবাহিত করলে স্ফটকাকার নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড পাওয়া যায়।

$$N_2O_4 + O_3 = N_2O_5 + O_2$$

ধর্ম : (a) **ভৌত ধর্ম :** বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড বর্ণহীন ও উদগ্রাহী স্ফটিকাকার কঠিন পদার্থ। এটি 0°C-এর নীচে সুস্থিত কিন্তু 30°C উষ্ণতায় এটি বিয়োজিত হয়ে গাঢ় বাদামী তরলে পরিণত হয়। 50°C উষ্ণতায় এই তরল বিয়োজিত হয় এবং লালবর্ণের NO_2 ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে।

$$2N_2O_5 = 2N_2O_4 + O_2$$

N_2O_5-কে 50°C-এর বেশী তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বিস্ফোরণ ঘটে।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ফসফরাস, সালফার প্রভৃতি তরল N_2O_5-এর সঙ্গে গরম করলে জ্বলে ওঠে। চারকোলের সঙ্গে তরল N_2O_5-এর কোন বিক্রিয়া ঘটে না, কিন্তু গ্যাসীয় N_2O_5-এ এটি উজ্জ্বল শিখায় জ্বলতে থাকে।

$$2N_2O_5 + C = 2N_2O_4 + CO_2\ ;\ 2N_2O_5 + S = 2N_2O_4 + SO_2$$

(ii) N_2O_5 জলে দ্রবীভূত হয় এবং নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এইজন্য একে নাইট্রিক অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড বলা হয়ে থাকে।

$$N_2O_5 + H_2O = 2HNO_3$$

N_2O_5-কে গাঢ় HNO_3-তে দ্রবীভূত করে সেই দ্রবণকে ঠাণ্ডা করলে $N_2O_5, 2HNO_3$ (গলনাঙ্ক 5°C) কেলাসিত হয়।

(iii) N_2O_5-এ নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা (+V) সব চেয়ে বেশী। তাই এটি একটি তীব্র জারক পদার্থ হিসাবে কাজ করে।

$$2N_2O_5+2P \text{ (উত্তপ্ত)}=P_2O_5+5N_2O_4$$

সনাক্তকরণ ঃ N_2O_5 বর্ণহীন কঠিন পদার্থ। এর জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে।

ব্যবহার ঃ নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী করতে N_2O_5-এর প্রয়োজন হয়।

13.5 ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইড (Phosphorus tri-oxide ; P_2O_3 বা P_4O_6) ঃ ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইড একটি নিরুদিত অ্যাসিড। বিজ্ঞানী সাগে (Sage, 1777) প্রথম লক্ষ্য করেন যে, সীমিত অক্সিজেনের মধ্যে ফসফরাসের দহন ঘটালে ফসফরাসের এই নিম্ন অক্সাইডটি উৎপন্ন হয়। তবে থরপে এবং টুটন (Thorpe and Tuton) সর্বপ্রথম যৌগটি পৃথক করতে সক্ষম হন।

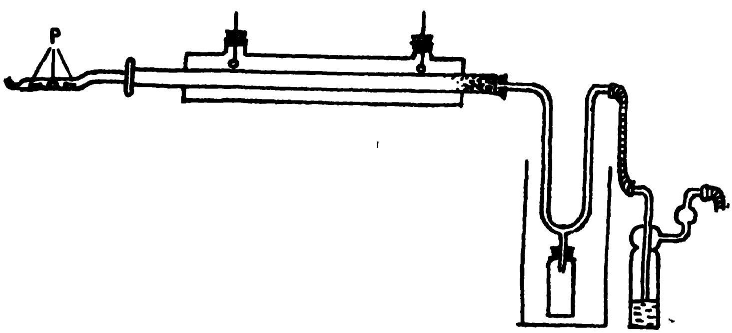
প্রস্তুতি ঃ সাদা ফসফরাসকে সীমিত বায়ু প্রবাহে উত্তপ্ত করে এই অক্সাইডটি উৎপন্ন করা হয়।

$$P_4+3O_2=2P_2O_3$$

এই বিক্রিয়ায় সামান্য পরিমাণে ফসফরাস পেণ্টক্সাইডও উৎপন্ন হয়।

$$P_4+5O_2=2P_2O_5$$

পরীক্ষা ঃ একটি শক্ত কাঁচের টিউবের সঙ্গে যুক্ত করা হয় একটি লিবিগ শীতক (Liebig's condenser) যার অপর প্রান্ত যুক্ত থাকে একটি



13. 5. 1নং চিত্র

U-টিউবের সঙ্গে; U-টিউবটি নীচের দিকে একটি বোতলের সঙ্গে যুক্ত। U-টিউবের অপর প্রান্ত একটি পাম্পের সঙ্গে লাগানো থাকে। শক্ত কাঁচের

টিউবটিতে রাখা হয় সাদা ফসফরাস আর লিবিগ শীতকের মধ্যে চালনা করা হয় গরম জল (60°C উষ্ণতা)। শীতকের যে প্রান্ত U-টিউবের সঙ্গে যুক্ত সেই প্রান্তে ঠেসে দেওয়া হয় কিছু পরিমাণ গ্লাস উল। U-টিউবের সঙ্গে যুক্ত বোতলটি হিম-মিশ্রের মধ্যে বসানো হয় (13. 5. 1নং চিত্র)।

সংগ্রহ ঃ যখন পাম্প চালানো হয় তখন শক্ত কাঁচের টিউবটির উপর দ্রুত বায়ুপ্রবাহ ঘটে এবং উত্তপ্ত ফসফরাসের দহন ক্রিয়া শুরু হয়। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় ট্রাই এবং পেন্টা উভয় প্রকার অক্সাইডই। ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইড বাষ্পাকারে থাকে ; পেন্টক্সাইড থাকে কঠিন চূর্ণরূপে। শীতকের মধ্য দিয়ে নির্গমনের সময় P_2O_5 গ্লাস উলে আটকে যায়, কিন্তু গ্যাসীয় P_2O_3 অনায়াসে বেরিয়ে যায় এবং বেরিয়ে U-টিউব দিয়ে প্রবাহিত হয়ে হিম-মিশ্রে বসানো বোতলে কঠিনরূপে জমে।

ধর্ম ঃ (a) ভৌতধর্ম ঃ বিশুদ্ধ ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড বর্ণহীন স্ফটিকাকার পদার্থ যার গলনাঙ্ক 23°·8C এবং স্ফুটনাঙ্ক 178°·1C। অবিশুদ্ধ অবস্থায় এটি মোমের মত হয়ে থাকে। যৌগটির ঝাঁঝালো অম্লগন্ধ আছে। এটি অত্যন্ত বিষাক্ত। ইথার, কার্বন ডাইসালফাইড, বেঞ্জিন এবং ক্লোরোফর্মে এটি দ্রবীভূত হয়।

(b) রাসায়নিক ধর্ম ঃ এটি একটি আম্লিক অক্সাইড এবং ঠাণ্ডা জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফসফরাস অ্যাসিড উৎপন্ন করে। গরম জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিস্ফোরণ সহকারে উৎপন্ন হয় ফসফিন (PH_3) এবং ফসফরিক অ্যাসিড (H_3PO_4)।

$$P_2O_3+3H_2O=2H_3PO_3\ ;\ 2P_2O_3+6H_2O=PH_3+3H_3PO_4$$

এই অক্সাইডটি ফসফরাসের নিম্নতম অক্সাইড। এতে ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা +III। যেহেতু ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা +V পর্যন্ত হতে পারে, সেহেতু P_2O_3 যৌগটি জারিত হতে পারে। P_2O_3-কে একটি সিল-করা টিউবে 440°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে পাওয়া যায় ফসফরাস টেট্রক্সাইড (P_2O_4)। আর P_2O_3-কে অতিরিক্ত বায়ুতে উত্তপ্ত করলে P_2O_5 উৎপন্ন হয়।

$$4P_2O_3=3P_2O_4+2P\ ;\ P_2O_3+O_2=P_2O_5$$

সনাক্তকরণ ঃ ফসফরাস ট্রাই অক্সাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে প্রথমে আসে একটি সাদা অধঃক্ষেপ যা ধীরে ধীরে কালো বর্ণ ধারণ করে।

$$P_2O_3+3H_2O=2H_3PO_3$$
$$H_3PO_3+2AgNO_3=Ag_2HPO_3+2HNO_3$$
$$Ag_2HPO_3+H_2O=2\,Ag+H_3PO_4$$

13.6 ফসফরাস পেণ্টক্সাইড (Phosphorus Pentoxide, ; P_2O_5 বা P_4O_{10}) : ফসফরাস পেণ্টক্সাইড একটি নিরুদিত অ্যাসিড। এটি ফসফরাসের উচ্চতম অক্সাইড।

প্রস্তুতি : (i) অতিরিক্ত বায়ুতে সাদা ফসফরাসের দহন ঘটিয়ে যৌগটি উৎপন্ন করা হয়।

$$P_4+5O_2=2P_2O_5$$

বায়ু অবশ্যই শুষ্ক হবে ; অন্যথায় উৎপন্ন ফসফরাস পেণ্টক্সাইড ফসফরিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হবে। যাই হোক, ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের সঙ্গে মিশ্রিত থাকে কিছু ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড। এইজন্য অবিশুদ্ধ পদার্থটিকে শুষ্ক ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়া করানো হয়। এতে সব ট্রাই-অক্সাইড পেণ্ট-ক্সাইডে রূপান্তরিত হয়ে যায়।

$$P_2O_3+2O_3=P_2O_5+2O_2$$

(ii) 150°C উষ্ণতায় ফসফিন গ্যাসে দহন ঘটালে এটি জ্বলে ওঠে এবং উৎপন্ন হয় ফসফরাস পেণ্টক্সাইড।

$$2PH_3+4O_2=P_2O_5+3H_2O$$

ধর্ম : (a) **ভৌত ধর্ম :** এটি সাদা বর্ণের পাউডারের ন্যায় পদার্থ। পদার্থটি উদগ্রাহী (Deliquescent)। 250°C উষ্ণতায় এটি ঊর্দ্ধপাতিত হয়। ফসফরাস পেণ্টক্সাইড অনুপ্রভা (Phosphorescence) সৃষ্টি করতে পারে। যৌগটিকে উত্তপ্ত করে (বিশেষতঃ নিম্ন উষ্ণতায়) অন্ধকারে রেখে দিলে জ্বল্ জ্বল্ করে। একেই বলে অনুপ্রভা।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) আম্লিক অক্সাইড বলে এটি জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিড উৎপন্ন করে ; ঠাণ্ডা জলে দ্রবীভূত হয়ে উৎপন্ন করে মেটা ফসফরিক অ্যাসিড (HPO_3) আর ফুটন্ত জলের সঙ্গে ফসফরিক অ্যাসিড (H_3PO_4)।

$$P_2O_5+H_2O=2HPO_3 \quad P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4$$

(ii) এটি ফসফরাসের উচ্চতম অক্সাইড। এখানে ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা +V।

P_2O_3 ও P_2O_5-এর মিশ্রণকে একটি সিল-করা টিউবে 290°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে P_2O_5 বিজারিত হয়ে P_2O_4 উৎপন্ন করে।

$$P_2O_3+P_2O_5=2P_2O_4$$

(iii) জলের প্রতি এটির তীব্র আসক্তি আছে; বহু অক্সি-অ্যাসিড থেকে জল অপনয়ন করে নিরুদিত অ্যাসিড তৈরী করতে পারে।

$$H_2SO_4+[P_2O_5]=SO_3+[H_2O+P_2O_5]$$

$$2HClO_4+[P_2O_5]=Cl_2O_7+[H_2O+P_2O_5]$$

(iv) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড ও ফসফরাস পেন্টক্সাইডের মিশ্রণ একটি সিল-করা টিউবে উত্তপ্ত করে উদ্বায়ী তরল ফসফরাস অক্সিক্লোরাইড ($POCl_3$) উৎপন্ন করা হয়। $3PCl_5+P_2O_5=5POCl_3$

(v) P_2O_5 এবং CaF_2-এর মিশ্রণ একটি লোহার টিউবে উত্তপ্ত করলে ফসফরাস পেন্টাফ্লুরাইড (PF_5) উৎপন্ন হয়।

$$6P_2O_5+5CaF_2=2PF_5+5Ca(PO_3)_2$$

সনাক্তকরণ ঃ i) P_2O_5-এর ঠাণ্ডা জলের দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে সাদা অধঃক্ষেপ আসে।

(ii) ফুটন্ত জলে P_2O_5-এর দ্রবণ করে তাতে গাঢ় HNO_3 এবং অ্যামোনিয়াম মলিবডেট দ্রবণ যোগ করলে হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়।

ব্যবহার ঃ জলাকর্ষী পদার্থরূপে (Dehydrating agent) এটি ব্যবহৃত হয়।

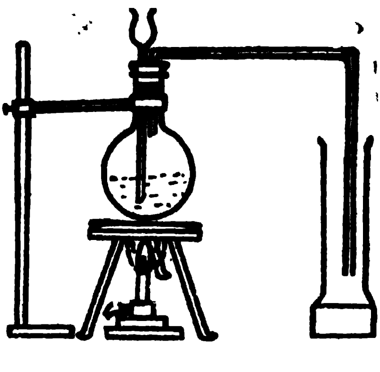
13.7 সালফার ডাই-অক্সাইড (Sulphur dioxide ; SO_2) ঃ 1774 খ্রীষ্টাব্দে প্রিস্টলি পারদের সঙ্গে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করে সর্বপ্রথম সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস প্রস্তুত করেন। শিল্প সমৃদ্ধ অঞ্চলের বায়ুতে এবং আগ্নেয়গিরি থেকে উত্থিত গ্যাসে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস পাওয়া যায়।

প্রস্তুতি ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডকে উত্তপ্ত অবস্থায় ধাতব কপারের দ্বারা বিজারিত করে পরীক্ষাগারে সালফার ডাইঅক্সাইড তৈরী করা হয়।

$$2H_2SO_4+Cu=CuSO_4+SO_2+2H_2O$$

দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নলযুক্ত একটি গোলতল ফ্লাস্কে কিছুটা তামার ছিবড়ে নিয়ে ত্রিপদ ধারকে বসানো হল। নির্গম নলের খোলা মুখটি গাঢ়

সালফিউরিক অ্যাসিডে আংশিকভাবে পূর্ণ একটি উলফ বোতলের মধ্যে প্রবেশ করানো হল। বোতলটির অন্যমুখ থেকে আর একটি নির্গম-নল ঊর্দ্ধমুখ-গ্যাসজারে ঢুকিয়ে দেওয়া হল (13.7.1 নং চিত্র)। এখন দীর্ঘ-নলের সাহায্যে তামার কুচির উপর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ঢালা হল এবং উত্তাপ দেওয়া হল। ফলে জলীয় বাষ্প মিশ্রিত সালফার ডাই-অক্সাইড নির্গত হতে থাকে। এই গ্যাস বায়ুর ঊর্দ্ধ অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সঞ্চিত হয়।



13. 7. 1নং চিত্র

বিশুদ্ধিকরণ ঃ পরীক্ষাগারে প্রস্তুত সালফার ডাই-অক্সাইডে প্রচুর জলীয় বাষ্প মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, বিগলিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড বা P_2O_5-এর ভিতর দিয়ে চালনা করে মারকারির উপর সংগ্রহ করলে বিশুদ্ধ ও শুষ্ক সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস পাওয়া যায়।

(2) **স্বাভাবিক উষ্ণতায়** সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট দ্রবণে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মেশালে অতি সহজেই সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$NaHSO_3+H_2SO_4=NaHSO_4+H_2O+SO_2$$

(3) বায়ুর সংস্পর্শে সালফার বা সালফাইড খনিজ যেমন, আয়রন পিরাইটিস (FeS_2), কপার পিরাইটিস (Cu_2S, Fe_2S_3) বা জিঙ্ক ব্লেণ্ড (ZnS) প্রভৃতি পুড়িয়ে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস তৈরী করা যায়। গ্যাসটির শিল্প প্রস্তুতিতে সাধারণতঃ এই পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়ে থাকে।

$$S+O_2=SO_2\ ;\ 4FeS_2+11O_2=2Fe_2O_3+8SO_2\ ;$$

$$Cu_2S,\ Fe_2S_3+4O_2=Cu_2S+2FeO+3SO_2$$

$$2ZnS+3O_2=2ZnO+2SO_2$$

ধর্ম ঃ (a) ভৌত ধর্ম ঃ (i) এটি স্বচ্ছ, সালফার দহনের গন্ধযুক্ত, বায়ুর চেয়ে ভারী ও জলে দ্রাব্য একটি গ্যাস। (ii) 15°C উষ্ণতায় 2·5 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ প্রয়োগ করলে কিংবা হিম-মিশ্রণ দ্বারা ঠাণ্ডা করলে গ্যাসটি তরলে

পরিণত হয়। তরল সালফার ডাই-অক্সাইডে আয়োডিন সালফার, ফসফরাস, রেসিন (Resin) প্রভৃতি দ্রবীভূত হয়।

(b) রাসায়নিক ধর্ম : (i) গ্যাসটি দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়। তবে উত্তপ্ত পটাসিয়াম, লোহা, টিন এবং ম্যাগনেশিয়াম প্রভৃতি ধাতু এই গ্যাসে উজ্জ্বলশিখায় জ্বলতে থাকে।

$4K + 3SO_2 = K_2SO_3 + K_2S_2O_3$ (পটাসিয়াম থায়োসালফেট)

(ii) SO_2 উত্তাপে বিয়োজিত হয় না। কিন্তু আলোর সংস্পর্শে ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়। $3SO_2 = 2SO_3 + S$. (iii) সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয়ে সালফিউরাস অ্যাসিড গঠন করে। $SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$; সুতরাং গ্যাসটি একটি আম্লিক অক্সাইড। সালফার ডাই-অক্সাইড ক্ষারক ও ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় আম্লিক লবণ ও প্রশম লবণ গঠন করে।

$$SO_2 + NaOH = NaHSO_3 \;;\; NaHSO_3 + NaOH = Na_2SO_3 + H_2O$$
$$2SO_2 + Na_2CO_3 + H_2O = 2NaHSO_3 + CO_2$$
$$2NaHSO_3 + Na_2CO_3 = CO_2 + H_2O + 2Na_2SO_3$$

(iv) সালফার ডাইঅক্সাইডে সালফারের জারণ-সংখ্যা হল $+IV$। কিন্তু সালফারের অন্যান্য যৌগে সালফারের বিভিন্ন জারণ-সংখ্যা যেমন, $+VI, +IV$ এবং $-II$ হওয়া সম্ভব। আবার মৌল হিসাবে সালফারের জারন-সংখ্যা 0; কাজেই SO_2 অবস্থাবিশেষে বিজারিত বা জারিত হতে পারে। তবে বিজারকদ্রব্য হিসাব এটি বেশী ক্রিয়াশীল।

বিজারণ ক্রিয়া : সালফার ডাইঅক্সাইড একটি তীব্র বিজারক। এটি ক্লোরিন, ব্রোমিন ইত্যাদিকে বর্ণহীন হাইড্রো-অ্যাসিডে, ফেরিক লবণকে ফেরাস লবণে, হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে জলে এবং মারকিউরাস নাইট্রেটকে ধাতব মারকারিতে বিজারিত করে। প্রত্যেক ক্ষেত্রেই SO_2 নিজে H_2SO_4-এ জারিত হয়।

$$X_2 + 2H_2O + SO_2 = 2HX + H_2SO_4 \quad (X = Cl\ Br, I)$$
$$2FeCl_3 + 2H_2O + SO_2 = 2FeCl_2 + H_2SO_4 + 2HCl$$
$$H_2O_2 + SO_2 + H_2O = H_2O + H_2SO_4$$
$$Hg_2(NO_3)_2 + SO_2 + 2H_2O = 2Hg + 2HNO_3 + H_2SO_4$$

এই গ্যাস বেগুনী বর্ণের পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণকে এবং কমলা বর্ণের অম্লীকৃত পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণকে যথাক্রমে বর্ণহীন এবং সবুজ বর্ণে পরিণত করে।

$$2KMnO_4+5SO_2+2H_2O=K_2SO_4+2MnSO_4+2H_2SO_4$$

$$K_2Cr_2O_7+3SO_2+H_2SO_4=K_2SO_4+Cr_2(SO_4)_3+H_2O$$

আয়োডেট দ্রবণে SO_2 গ্যাস চালনা করলে বেগুনী আয়োডিন গ্যাস নির্গত হয়।

$$2KIO_3+5SO_2+4H_2O=I_2+3H_2SO_4+2KHSO_4$$

জারণ ক্রিয়া : SO_2 গ্যাস আর্দ্র হাইড্রোজেন সালফাইডকে, 1100^0C উষ্ণতায় কার্বনকে ও অম্লীকৃত ফেরাস ক্লোরাইড দ্রবণকে জারিত করে এবং নিজে সালফারে বিজারিত হয়।

$$2H_2S+SO_2=2H_2O+3S$$

$$C+SO_2=CO_2+S\ ;\ 4FeCl_2+4HCl+SO_2=S+4FeCl_3+2H_2O$$

(v) কার্বন ডাই-অক্সাইডের মতো সালফার ডাই-অক্সাইডও চুণ-জলকে প্রথমে ঘোলা ও পরে স্বচ্ছ দ্রবণে পরিণত করে। এক্ষেত্রেও প্রথমে জলে অদ্রাব্য $CaSO_3$ এবং পরে দ্রাব্য $Ca(HSO_3)_2$ গঠিত হয়।

$$Ca(OH)_2+SO_2-CaSO_3+H_2O$$

$$CaSO_3+SO_2+H_2O=2Ca(HSO_3)_2$$

(vi) প্লাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে SO_2 গ্যাস 450°C উষ্ণতায় অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং SO_3 দেয়। $2SO_2+O_2=2SO_3$

(vii) সালফার ডাই-অক্সাইডের মৃদু বিরঞ্জন ধর্ম আছে। ভিজে ফুল ও ম্যাজেণ্টাদ্রবণকে সালফার ডাই-অক্সাইড বিজারণ পদ্ধতিতে বিরঞ্জিত করে। সম্ভবতঃ সালফার ডাই-অক্সাইড ও জলের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারাই রঙিন পদার্থগুলি বিজারিত হয়।

$$SO_2+2H_2O=H_2SO_4+2H$$

রঙিন পদার্থ $+SO_2+2H_2O=$ বিজারিত বর্ণহীন পদার্থ $+H_2SO_4$

সনাক্তকরণ : (i) সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাসে পোড়া গন্ধকের মতো শ্বাসরোধী ঝাঁঝালো গন্ধ আছে।

(ii) অম্লীকৃত পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণে এক টুকরো কাগজ ভিজিয়ে নিয়ে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাসে ধরলে তা সবুজ বর্ণে পরিণত হয়। এই গ্যাস $KMnO_4$ দ্রবণকে বর্ণহীন করে।

ব্যবহার : (i) সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প-প্রস্তুতির একটি প্রধান ও অন্যতম উপাদান হল সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস। (ii) শর্করা-শিল্পে বিরঞ্জক হিসাবে গ্যাসটির যথেষ্ট চাহিদা আছে। উল, সিল্ক

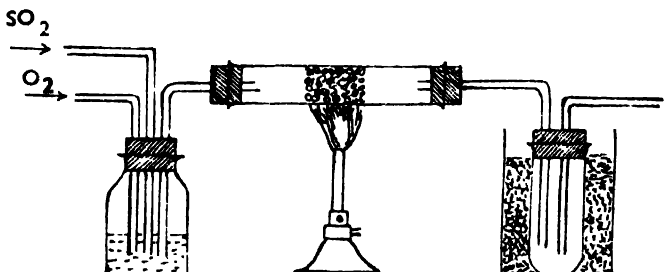
বিরঞ্জনের জন্যও এটা ব্যবহৃত হয়। (iii) এই গ্যাস থেকে প্রস্তুত সোডিয়াম ও ক্যালসিয়াম বাইসালফাইট কাগজ শিল্পে, এবং সোডিয়াম মেটাবাই-সালফাইট ফটোগ্রাফীতে ব্যবহার করা হয়। (iv) মদ, মাংস, ফলমূল প্রভৃতি সংরক্ষণের কাজে সালফার ডাই-অক্সাইডের প্রয়োজন হয়। গ্যাসটির ধোঁয়া দিয়ে (Fumigation) অনেক সময় ঘর-বাড়ি, গুদাম জাহাজের খোল প্রভৃতি জীবাণুমুক্ত করা হয়। (v) ক্লোরিনের দ্বারা বিরঞ্জিত পদার্থ থেকে অতিরিক্ত ক্লোরিনকে দূর করতে এই গ্যাস প্রতিক্লোর (Antichlor) রূপে ব্যবহৃত হয়। (vi) তরল সালফার ডাই-অক্সাইড (Liquid sulphur dioxide) একটি উত্তম প্রশীতক (Refrigerant)।

13.8 সালফার ট্রাই-অক্সাইড (Sulphur tri-oxide ; S_2O_3) ঃ সালফার ট্রাই-অক্সাইড একটি নিরুদিত অ্যাসিড। অর্থাৎ প্রতি এক অণু সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে এক অণু জল অপনয়ন করা হলে উৎপন্ন হয় এই অক্সাইডটি।

প্রস্তুতঃ পরীক্ষাগারের পদ্ধতিঃ 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্লাটিনাম-ঘটিত অ্যাসবেসটস অনুঘটকের উপর দিয়ে সালফার ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেনের মিশ্রণ প্রবাহিত করে পরীক্ষাগারে সালফার ট্রাই-অক্সাইড প্রস্তুত করা হয়।

$$2SO_2+O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$$

দুইটি আগম-নল ও একটি নির্গম-নলযুক্ত বোতলে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড নেওয়া হয়। নির্গম-নলটি একটি টিউবের মাধ্যমে হিম-মিশ্রণে অবস্থিত



13. 8. 1নং চিত্র

টেষ্ট টিউবের সঙ্গে যুক্ত থাকে (13.8.1 নং চিত্র)। টিউবে রাখা হয় 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্লাটিনাম ঘটিত অ্যাসবেসটস (Platinised asbestos)।

আগম-নল দিয়ে বোতলের মধ্যে SO_2 ও O_2 গ্যাস চালনা করা হয়। SO_2 ও O_2-এর সংযোগে উৎপন্ন সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস ঘনীভূত হয়ে টেষ্ট-টিউবে সাদা স্ফটিকাকার পদার্থরূপে জমা হয়। সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনে এভাবে SO_3 তৈরী করা হয়।

[**বিঃ দ্রঃ** SO_2 ও O_2 গ্যাস মিশ্রণটিকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে প্রবাহিত করে শুষ্ক করা হয়।]

(2) ফেরিক সালফেট, পাইরো-সালফিউরিক অ্যাসিড বা সোডিয়াম বাইসালফেটকে উত্তপ্ত করলে SO_3 উৎপন্ন হয়।

$$Fe_2(SO_4)_3 \rightleftharpoons Fe_2O_3 + 3SO_3 \; ; \; H_2S_2O_7 = H_2SO_4 + SO_3$$

$$2NaHSO_4 = Na_2S_2O_7 + H_2O \; ; \; Na_2S_2O_7 = Na_2SO_4 + SO_3$$

(3) সালফার ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে ওজোন যুক্ত হয়ে SO_3 উৎপন্ন করে।

$$3SO_2 + O_3 = 3SO_3$$

(4) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও ফসফরাস পেণ্টক্সাইডের মিশ্রণকে পাতিত করলে সালফার ট্রাই-অক্সাইড পাওয়া যায়।

$$H_2SO_4 + P_2O_5 = SO_3 + 2HPO_3$$

ধর্ম ঃ (**a**) **ভৌত ধর্ম ঃ** (i) সাধারণ উষ্ণতায় সালফার ট্রাই-অক্সাইড সাদা স্ফটিকাকার কঠিন পদার্থ। এর দুইটি রূপ আছে একটি α-SO_3 এবং অন্যটি β-SO_3। β-SO_3 আবার দুই রকমের হয়; এদের গলনাঙ্ক যথাক্রমে 32·5°C এবং 62·2°C। অনার্দ্র SO_3 বাষ্পকে ঠাণ্ডা করে ঘনীভূত করলে স্বচ্ছ স্ফটিকাকার α-SO_3 (গলনাঙ্ক 16·85°C) উৎপন্ন হয়। স্বল্প পরিমাণ জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিতে α-SO_3-কে দিন কয়েক রেখে দিলে এটি অ্যাসবেস্টাসের মত কঠিনাকার β-SO_3-এ পরিণত হয়। 50°C উষ্ণতায় β-SO_3 ধীরে ধীরে α-SO_3-এ পরিবর্তিত হতে থাকে। এদের রাসায়নিক ধর্ম অভিন্ন এবং প্রত্যেকটিতে একাধিক SO_3 অণু যুক্ত হয়ে পলিমার গঠন করে। (ii) আর্দ্র বায়ুতে SO_3 গ্যাস ধূমায়িত হয়।

(**b**) **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** (i) সালফার ট্রাই-অক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয়ে সালফিউরিক-অ্যাসিড এবং পাইরো-সালফিউরিক অ্যাসিড (ওলিয়াম) গঠন করে।

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4 \; ; \; 2SO_3 + H_2O = H_2S_2O_7$$

(ii) সালফার ট্রাই-অক্সাইড ক্ষারকীয় অক্সাইডের সঙ্গে সালফেট লবণ গঠন করে।

$$Na_2O+SO_3=Na_2SO_4\ ;\ BaO+SO_3=BaSO_4$$

BaO-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রচুর তাপ উদ্ভূত হয়।

(iii) সালফার ট্রাই-অক্সাইড ও HCl-এর বিক্রিয়ায় ক্লোরোসালফনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। $SO_3+HCl=SO_2(OH)Cl$

(iv) লোহিত-তপ্ত টিউবের মধ্য দিয়ে সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস প্রবাহিত করলে তা বিয়োজিত হয়।

$$2SO_3 \rightleftharpoons 2SO_2+O_2$$

ব্যবহার ঃ (*i*) সালফার ট্রাই-অক্সাইড থেকে সালফিউরিক অ্যাসিড ও পাইরো-সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়। (ii) এই অক্সাইড থেকে অনেক সালফেট লবণ তৈরী করা যায়। যেমন—Na_2SO_4, $BaSO_4$ ইত্যাদি।

প্রশ্নাবলী

1. জিঙ্ক অক্সাইড ও কার্বনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে যে গ্যাস উৎপন্ন হয় পরীক্ষাগারে সেটি কিভাবে প্রস্তুত করবে? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে গ্যাসটিকে সনাক্ত কর।

2. কার্বনের যে অক্সাইডটি চুন-জলকে ঘোলা করে সেটির নাম কি? চুন-জল ঘোলা হয় কেন? বাই-কার্বনেট থেকে গ্যাসটির প্রস্তুতি লেখ। গ্যাসটির আম্লিক ধর্ম প্রমাণের জন্য কি পরীক্ষা করবে? উদ্ভিদ কিভাবে গ্যাসটিকে কাজে লাগায়?

3. সিলিকন ডাই-অক্সাইডের প্রস্তুতি লেখ এবং কার্বন ডাইঅক্সাইডের সঙ্গে এটির তুলনামূলক আলোচনা কর। সিলিকন ডাইঅক্সাইডের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।

4. নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডগুলি কি কি? অক্সাইডগুলির মধ্যে কোন কোনগুলি আম্লিক ও প্রশম।

5. একটি ধাতু (A) একটি তরল পদার্থ (B)-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় একটি গ্যাস (C) উৎপন্ন করে। (C) গ্যাসটি অপর একটি গ্যাস (D)-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে একটি বাদামী বর্ণের গ্যাসীয় পদার্থ (E) উৎপন্ন করে। (E)-এর জলীয় দ্রবণ আম্লিক। (A), (B), (C) এবং (D) সনাক্ত কর। (রাসায়নিক বিক্রিয়া উল্লেখ কর)।

6. আর্সেনাস অক্সাইড নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লালবর্ণের কি গ্যাস উৎপন্ন করে? গ্যাসটি আর কি কি ভাবে প্রস্তুত করা যায়?

7. একটি মৌল A দুইটি অক্সাইড গঠন করে—A_2O_3 (লালবর্ণের

গ্যাসীয় উভধর্মী অক্সাইড) ও A_2O_5 (বর্ণহীন কঠিন আম্লিক অক্সাইড)। A_2O_5 একটি সাদা কঠিন পদার্থ (B)-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অপর একটি কঠিন পদার্থ (C) উৎপন্ন করে। (C) ফুটন্ত জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে একটি তরল পদার্থ (D) যেটি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও অ্যামোনিয়াম মলিবডেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় গঠন করে হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ। প্রতি ক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়া উল্লেখ করে (A), (B), (C) এবং (D)-কে সনাক্ত কর।

8. জিঙ্কের সঙ্গে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় যে গ্যাসটি উৎপন্ন হয় ফসফরাসের সঙ্গে সেটির বিক্রিয়া লেখ। SO_2, NaOH এবং H_2-এর সঙ্গে গ্যাসটির বিক্রিয়া উল্লেখ কর। গ্যাসটির জারণ ধর্মের উদাহরণ দাও।

9. কি সর্তে SO_2 নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া করে ?

(a) ক্লোরিন (b) হাইড্রোজেন পারক্সাইড (c) পটাসিয়াম পার-ম্যাঙ্গানেট (d) পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট (e) পটাসিয়াম আয়োডেট।

10. AO_2 একটি আম্লিক অক্সাইড। AO_2 ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় AO_3 গঠন করে। AO_2-কে পটাসিয়াম আয়োডেট দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে একটি বেগুনী বর্ণের গ্যাস নির্গত হয়। নির্গত গ্যাসটি AO_2-এর সঙ্গে পুনরায় বিক্রিয়া করে একটি বর্ণহীন অ্যাসিড গঠন করে। A মৌলটি সনাক্ত কর এবং বিক্রিয়াগুলি রাসায়নিক সমীকরণ সহ ব্যাখ্যা কর।

চতুর্দশ অধ্যায়

কতকগুলি অক্সি-অ্যাসিড

(Some Oxi-acids)

14.1 নাইট্রাস অ্যাসিড (Nitrous acid ; HNO_2) **:** এটি নাইট্রোজেন, অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের একটি ত্রিমৌলিক অ্যাসিড। বায়ুতে বজ্রপাতের সময় বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন সংযুক্ত হয়ে গঠন করে NO, যেটি পুনরায় জারিত হয়ে NO_2-এ পরিণত হয়। এই NO_2 বৃষ্টির জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিড গঠন করে।

প্রস্তুত প্রণালীসমূহ : (1) বরফ-ঠাণ্ডা (Ice cold) বেরিয়াম নাইট্রাইট দ্রবণের মধ্যে পরিমিত লঘু ও ঠাণ্ডা সালফিউরিক অ্যাসিড মেশালে বেরিয়াম সালফেটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে এবং নাইট্রাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

$$Ba(NO_2)_2+H_2SO_4=BaSO_4+2HNO_2$$

অধঃক্ষিপ্ত $BaSO_4$-কে পরিস্রাবণের সাহায্যে দ্রবণ থেকে আলাদা করা হয়।

(2) নাইট্রোজেন ট্রাই-অক্সাইডকে 0°C উষ্ণতায় জলে দ্রবীভূত করলে পাওয়া যায় নাইট্রাস অ্যাসিডের ঈষৎ নীলবর্ণের জলীয় দ্রবণ। কিন্তু এটি এত বেশী পরিমাণে দুঃস্থিত যে সঙ্গে সঙ্গে এটি N_2O_3 ও জলে বিয়োজিত হয়।

$$N_2O_3+H_2O \rightleftharpoons 2HNO_2 \ (0°C)$$

ধর্ম : (a) **ভৌত ধর্ম :** (i) নাইট্রাস অ্যাসিড অম্ল-স্বাদযুক্ত ঈষৎ নীলবর্ণের একটি তরল পদার্থ।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) এটি খুব বেশী দুঃস্থিত বলে সাধারণ উষ্ণতায় বিয়োজিত হয়, যার ফলে এটি থেকে বাদামী নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়।

$$2HNO_2 \rightleftharpoons N_2O_3+H_2O \rightleftharpoons H_2O+NO+NO_2$$

নাইট্রাস অ্যাসিডের লঘু দ্রবণকে কয়েক দিন রেখে দিলে এটির কিছু অংশ জারিত আর কিছু অংশ বিজারিত হয়। এরূপ বিয়োজনকে বলা হয় ডিসমিউটেশন (Dismutation) বা ডিসপ্রপোরসনেশন (Disproportionation)

$$2HNO_2+HNO_2=HNO_3+2NO+H_2O$$

নাইট্রাস-অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়। $HNO_2 \rightleftharpoons H^+ + NO_2^-$; সুতরাং এটি এক-ক্ষারকীয় মৃদু-অ্যাসিড। এটি নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং ধাতু, ক্ষারক ও কার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব-নাইট্রাইট গঠন করে।

$$Cu + 4HNO_2 = Cu(NO_2)_2 + 2NO + 2H_2O$$

(ii) নাইট্রাস অ্যাসিডে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা হল +III; কিন্তু মৌল হিসাবে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা শূন্য। আবার অন্যান্য মৌলের সঙ্গে যুক্তাবস্থায় এই জারণ-সংখ্যা −III এবং +I থেকে +V পর্যন্ত হতে পারে। তাই অবস্থা বিশেষে নাইট্রাস অ্যাসিড জারক ও বিজারক উভয়ের কাজ করে।

জারণ-ক্রিয়া: নাইট্রাস অ্যাসিড একটি তীব্র জারক পদার্থ। বিজারক দ্রব্যের সঙ্গে বিক্রিয়ায় এটি N_2, N_2O বা NO-এ বিজারিত হয়।

$$2HNO_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow N_2O + 3H_2O$$

$$HNO_2 + H^+ + e \rightarrow NO + H_2O$$

(a) নাইট্রাস অ্যাসিড ফেরাস লবণকে ফেরিক লবণে, আয়োডাইডকে আয়োডিনে, সালফার ডাই-অক্সাইডকে সালফিউরিক অ্যাসিডে, হাইড্রোজেন সালফাইডকে সালফারে এবং আর্সেনাস অ্যাসিডকে আর্সেনিক অ্যাসিডে জারিত করে।

$$2FeSO_4 + 2HNO_2 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 2H_2O$$

$$2HI + 2HNO_2 = I_2 + 2NO + 2H_2O$$

$$SO_2 + 2HNO_2 = H_2SO_4 + 2NO$$

$$H_2S + 2HNO_2 = S + 2NO + 2H_2O$$

$$H_3AsO_3 + 2HNO_2 = H_3AsO_4 + 2NO + H_2O$$

(b) নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় স্ট্যানাস লবণের অ্যাসিডিক দ্রবণ, হাইড্রাজোয়িক অ্যাসিড, $-NH_2$ মূলকযুক্ত অ্যামিনো যৌগ প্রভৃতি জারিত হয়।

$$2SnCl_2 + 2HNO_2 + 4HCl = 2SnCl_4 + N_2O + 3H_2O$$

$$HN_3 + HNO_2 = N_2O + N_2 + H_2O$$

$$CH_3NH_2 + HNO_2 = CH_3OH + N_2 + H_2O$$

বিজারণ ক্রিয়া: তীব্র জারক পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অ্যাসিড বিজারক পদার্থ হিসাবে কাজ করে থাকে। $HNO_2 + H_2O$

$\rightarrow NO_3^- + 3H^+ + 2e$। পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও পটাসিয়াম ডাই-ক্রোমেটের অ্যাসিডিক দ্রবণ, হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড এবং ব্রোমিন-ওয়াটার প্রভৃতি তীব্র জারক পদার্থদ্বারা নাইট্রাস অ্যাসিড জারিত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$2KMnO_4 + 5HNO_2 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5HNO_3 + 3H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3HNO_2 + 4H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 3HNO_3 + H_2O$$

$$H_2O_2 + HNO_2 = H_2O + HNO_3$$

$$Br_2 + H_2O + HNO_2 = 2HBr + HNO_3$$

(iii) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড, ইউরিয়া, $CO(NH_2)_2$, সালফামিক অ্যাসিড (NH_2SO_3H) প্রভৃতি নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়ায় নাইট্রেটের উপস্থিতিতে নাইট্রাইট লবন ভেঙ্গে যায়।

$$CO(NH_2)_2 + 2HNO_2 = 2N_2 + 3H_2O + CO_2$$

$$NH_4Cl + HNO_2 = N_2 + 2H_2O + HCl$$

$$NH_2SO_3H + HNO_2 = N_2 + H_2O + H_2SO_4$$

নাইট্রাস অ্যাসিড এবং নাইট্রাইট-মূলকের সনাক্তকরণ ঃ (i) নাইট্রাস অ্যাসিড নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে।

(ii) নাইট্রাইট লবণের সঙ্গে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মেশালে বাদামী বর্ণের NO_2 গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস স্টার্চ–আয়োডাইড সিক্ত কাগজকে নীলকরে।

$$3NO_2^- + 2H^+ = H_2O + NO_3^- + 2NO\ ;\ 2NO + O_2 = 2NO_2$$

$$2I^- + NO_2 + H_2O = 2OH^- + I_2 + NO$$

(iii) অম্লীকৃত নাইট্রাইট দ্রবণ আয়োডাইড লবণ থেকে আয়োডিনকে বিমুক্ত করে। এই গ্যাসে স্টার্চ দ্রবণে সিক্ত কাগজ ধরলে তা নীল হয়ে যায়।

(iv) নাইট্রাস অ্যাসিড বা নাইট্রাইট দ্রবণ অম্লীকৃত পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের বেগুনী দ্রবণকে বর্ণহীন করে।

(v) নাইট্রাস অ্যাসিড বা নাইট্রাইট দ্রবণে কয়েকফোঁটা মেটা-ফেনিলীন ডাই-অ্যামিন হাইড্রোক্লোরাইড দ্রবণ মেশালে মিশ্রিত দ্রবণের বর্ণ বাদামী হয়।

(vi) অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও নাইট্রাইট দ্রবণের মিশ্রণে কয়েকফোঁটা সালফানিলিক অ্যাসিড ও α-নাফথিল অ্যামিন দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণটি গাঢ় গোলাপী বর্ণ ধারণ করে।

(vii) একটি টেষ্টটিউবে নাইট্রাস অ্যাসিড বা নাইট্রাইট দ্রবণ নিয়ে তার মধ্যে ফেরাস সালফেটের সংপৃক্ত দ্রবণ মেশানো হল। এবার টেষ্ট-টিউবের গা বেয়ে খুব ধীরে ও সতর্কতার সঙ্গে গাঢ় ও ঠাণ্ডা সালফিউরিক অ্যাসিড ঢাললে মিশ্রণ ও অ্যাসিডের সংযোগস্থলে একটি বাদামীবর্ণের দুস্থিত বলয় তৈরী হয়।

$$2FeSO_4+2HNO_2+H_2SO_4=Fe_2(SO_4)_3+2NO+2H_2O$$

$$FeSO_4+NO=[Fe(NO)]SO_4;$$

বাদামী বলয়

নাইট্রাস অ্যাসিডের ব্যবহারঃ অ্যাসিডটি সাধারণতঃ নাইট্রাইট লবণ তৈরী করতে ব্যবহৃত হয়।

14.2 নাইট্রিক অ্যাসিড (Nitric acid ; HNO_3)ঃ আরব বিজ্ঞানী জিবার (Geber) সর্বপ্রথম হীরাকস (ফেরাস সালফেট) ও সোরার (নাইটার বা সল্টপিটার) মিশ্রণকে পাতিত করে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করেন। বৃষ্টির জলে সামান্য পরিমাণে এই অ্যাসিডটি থাকে।

প্রস্তুত প্রণালীঃ **পরীক্ষাগারের পদ্ধতি**ঃ সোডিয়াম বা পটাসিয়াম নাইট্রেটকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশিয়ে পাতিত করলে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়াটি দুইটি ধাপে সম্পন্ন হয়ে থাকে।

প্রথম ধাপ—$NaNO_3+H_2SO_4=NaHSO_4+HNO_3$ (200°C)

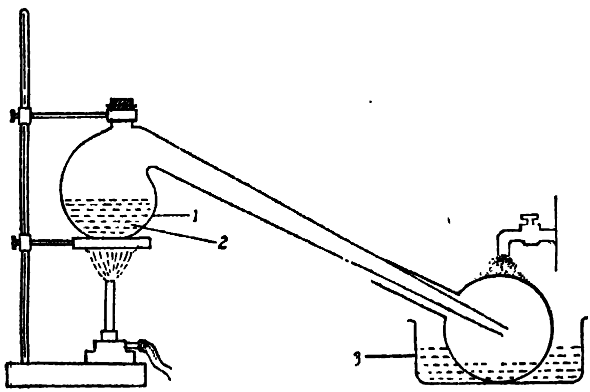
দ্বিতীয় ধাপ—$NaHSO_4+NaNO_3=Na_2SO_4+HNO_3$ (800°C)

সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে প্রথম ধাপেই বিক্রিয়াটিকে সম্পন্ন করে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়ে থাকে। শেষোক্ত বিক্রিয়াটি কয়েকটি কারণে সচরাচর সংঘটিত করানো হয় না। 800°C উষ্ণতায় (i) যে কাঁচের পাত্রে অ্যাসিডটি তৈরী করা হয় সেটি ফেটে যাওরার সম্ভাবনা থাকে। (ii) উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিড অংশতঃ বিয়োজিত হয়ে যায় । (iii) উৎপন্ন সোডিয়াম সালফেট এই উষ্ণতায় কাঁচপাত্রে আটকে যায়, ফলে পাত্র থেকে সেটিকে বের করতে অসুবিধে হয়। (iv) ঐ উষ্ণতায় উৎপন্ন

নাইট্রিক অ্যাসিড বিক্রিয়া-পাত্রের (বিশেষতঃ ধাতু নির্মিত পাত্রের) সহিত তীব্র বিক্রিয়া করে।

সালফিউরিক অ্যাসিডের পরিবর্তে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ব্যবহার করেও নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী করা যায় কিন্তু সেক্ষেত্রে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বেশী উদ্বায়ী বলে দুইটি অ্যাসিডের মিশ্রণ পাওয়া যায় এবং তাদের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অ্যাসিড ভেঙ্গে যায়।

ঢাকনাসহ একটি বকযন্ত্রে সমান ওজনের সোডিয়াম নাইট্রেট এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ নিয়ে তা একটি তারজালির উপর



1. বকযন্ত্র 2. লবণ ও অ্যাসিডের মিশ্রণ 3. জলগাহ

14.2. 1নং চিত্র

স্থাপন করা হয়। বকযন্ত্রের লম্বা নলটিকে গ্রাহক পাত্র হিসাবে ব্যবহৃত গোলতল ফ্লাস্কের ভিতর প্রবেশ করানো হয়। গ্রাহক পাত্রটিকে উপর থেকে শীতল জল ঢেলে ঠাণ্ডা রাখা হয়। (14.2.1. নং চিত্র) এখন বকযন্ত্রটিকে 200°C-এ উত্তপ্ত করলে নাইট্রিক অ্যাসিডের বাষ্প উৎপন্ন হয় এবং পরে পাতিত হয়ে গ্রাহকে হলুদরঙের তরল পদার্থরূপে সঞ্চিত হয়। বকযন্ত্রে $KHSO_4$-এর অবশেষ পড়ে থাকে।

বিশুদ্ধিকরণ ঃ উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডে জল, নাইট্রোজেনের অক্সাইড ইত্যাদি অপদ্রব্য থাকে। দ্রবীভূত নাইট্রোজেনের অক্সাইডের (NO_2) জন্য অ্যাসিডটি হলুদ বর্ণের হয়। এই অ্যাসিডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে পাতিত করলে 98% নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। হলুদ বর্ণের নাইট্রিক-

অ্যাসিড 60—80°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে তার ভিতর দিয়ে বুদবুদ আকারে শুষ্ক বায়ু প্রবাহিত করালে নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ বিতাড়িত হয় এবং বর্ণহীন বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

98% নাইট্রিক অ্যাসিডকে—42°C উষ্ণতায় শীতল করলে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিডের বর্ণহীন কঠিন কেলাস উৎপন্ন হয়।

[$4HNO_3 = 4NO_2 + 2H_2O + O_2$ (200°C)

$2HNO_3 \rightleftharpoons N_2O_5 + H_2O$] (সাধারণ উষ্ণতা)

ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড (Fuming nitric acid) ঃ গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে অল্প পরিমাণে স্টার্চ মিশিয়ে পাতিত করলে গাঢ় রক্তবর্ণের যে তরল পদার্থ উৎপন্ন হয় তাকে বলা হয় ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড। স্টার্চ নাইট্রিক অ্যাসিডের কতকাংশকে বিয়োজিত করে NO ও NO_2 উৎপন্ন করে। বস্তুতঃ নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত NO ও NO_2 গ্যাসের দ্রবণকে ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড বলে।

ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের চেয়ে তীব্র জারক পদার্থ। শিল্পে ও পরীক্ষাগারে কোনো কোনো ক্ষেত্রে ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। দ্রবীভূত NO এবং NO_2-এর জন্যই ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড সাধারণ নাইট্রিক অ্যাসিডের থেকে তীব্রতর জারক।

নাইট্রিক অ্যাসিডের ধর্ম ঃ (a) ভৌত ধর্ম ঃ (i) বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড বর্ণহীন, উদ্বায়ী ও শ্বাসরোধী তরল পদার্থ। এর স্ফুটনাঙ্ক, 86°C এবং ঘনত্ব 1·52 (14°C উষ্ণতায়)। (ii) অ্যাসিডটি স্বতঃই ধূমায়িত হতে থাকে। (iii) সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রিক অ্যাসিডের বাষ্প বা তরল নাইট্রিক অ্যাসিড অল্প পরিমাণে নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড (N_2O_5) ও জলে বিয়োজিত হয়। (iv) (নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্প আলোর ক্রিয়ায় এবং তরল নাইট্রিক অ্যাসিডকে 86°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর ফেললে এটি নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড, অক্সিজেন এবং জলের অণুতে বিয়োজিত হয়। এই বিক্রিয়ায় HNO_3-এ অক্সিজেনের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।)

$2HNO_3 \rightleftharpoons N_2O_5 + H_2O$; $4HNO_3 = 4NO_2 + 2H_2O + O_2$

বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড তার স্ফুটনাঙ্কে (86°C-এ) বিয়োজিত হয় বলে এই অ্যাসিডকে পাতিত করা সম্ভব নয়। (v) নাইট্রিক অ্যাসিড জলে দ্রবণীয়।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) **অ্যাসিড ধর্ম :** নাইট্রিক অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে আয়নে বিয়োজিত হয় এবং প্রোটন উৎপন্ন করে।

$HNO_3 \rightleftharpoons H^+ + NO_3^-$। সুতরাং, নাইট্রিক অ্যাসিড একটি এক-ক্ষারকীয় তীব্র অ্যাসিড। তাই এটি নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং ধাতু, ক্ষারক ও কার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব নাইট্রেট গঠন করে।

$$KOH + HNO_3 = KNO_3 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2HNO_3 = 2NaNO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$CuO + 2HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + H_2O$$

$$Zn + 4HNO_3 \text{ (গাঢ়) } = Zn(NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2$$

(ii) **ক্ষারী ধর্ম :** নাইট্রিক অ্যাসিড একটি তীব্র ক্ষারী ধর্মসম্পন্ন তরল পদার্থ (Highly corrosive liquid)। নাইট্রিক অ্যাসিড অল্প পরিমাণে ত্বকের উপর পড়লে ত্বক জ্বালা করে এবং তাতে হলুদ বর্ণের দাগ হয়। সিল্ক ও সুতীর কাপড় এই অ্যাসিডে ফুটো হয়।

(iii) **জারণ ক্রিয়া :** নাইট্রিক অ্যাসিডে (HNO_3) নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা $+V$। কিন্তু মুক্তাবস্থায় নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা 0 এবং নাইট্রোজেনের অন্যান্য যৌগে নাইট্রোজেনের বিভিন্ন জারণ-সংখ্যা যেমন, $+IV$, $+III, +II, +I$, বা $-III$ হতে পারে। সুতরাং, নাইট্রিক অ্যাসিড একটি তীব্র জারক এবং এটি সহজেই NO_2 বা NO-তে বিজারিত হতে পারে। অধিকাংশ অধাতুগুলি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে ফোটালে জারিত হয় এবং অধাতব অক্সাইড বা অক্সি-অ্যাসিডে পরিণত হয়। যেমন—কার্বন ও সিলিকন নাইট্রিক অ্যাসিডের দ্বারা যথাক্রমে CO_2 ও SiO_2-এ জারিত হয়। আবার, ফসফরাস, আয়োডিন ও সালফার যথাক্রমে ফসফরিক অ্যাসিড, আয়োডিক অ্যাসিড ও সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$C + 4HNO_3 = CO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$$

$$Si + 4HNO_3 = SiO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$$

$$4P + 10HNO_3 + H_2O = 4H_3PO_4 + 5NO + 5NO_2$$

$$3I_2 + 10HNO_3 = 6HIO_3 + 10NO + 2H_2O$$

$$S + 2HNO_3 = H_2SO_4 + 2NO$$

অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, ক্লোরিন ও ব্রোমিনের সঙ্গে এই অ্যাসিড কোনো বিক্রিয়া করে না।

মৌল ছাড়াও অনেক যৌগিক পদার্থ এই অ্যাসিডের দ্বারা জারিত হয়।

ফেরাস লবণ ফেরিক লবণে এবং আয়োডাইড ও ব্রোমাইড লবণ যথাক্রমে আয়োডিনে ও ব্রোমিনে জারিত হয়। সালফার ডাই-অক্সাইড এবং নাইট্রোজেন অক্সাইডের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন সালফাইডও নাইট্রিক অ্যাসিডের দ্বারা জারিত হয়।

$$6FeSO_4+3H_2SO_4+2HNO_3=3Fe_2(SO_4)_3+2NO+4H_2O$$

$$6KBr+8HNO_3=6KNO_3+3Br_2+2NO+4H_2O$$

$$SO_2+2HNO_3=H_2SO_4+2NO_2$$

$$3H_2S+2HNO_3=3S+2NO+4H_2O$$

বহু জৈব পদার্থও নাইট্রিক অ্যাসিডের দ্বারা জারিত হয়। কোহল, তার্পিন তেল প্রভৃতি জৈব যৌগ নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিস্ফোরণ ঘটায় এবং জারিত হয়। গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের মিশ্রণ বহু জৈব যৌগকে জারিত করে নাইট্রো-যৌগে পরিণত করে। যেমন—ঐ অ্যাসিড মিশ্রণ বেনজিনকে (C_6H_6) নাইট্রোবেন্‌জিনে পরিণত করে।

$$C_6H_6+HO.NO_2=C_6H_5NO_2+H_2O$$

ধাতুর উপর ক্রিয়া ঃ সোনা প্লাটিনাম, রেডিয়াম প্রভৃতি কয়েকটি বরধাতু ছাড়া সমস্ত ধাতুই নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। লোহা ও ক্রোমিয়াম ধাতু গাঢ় অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অকেজো (Passive) হয়ে পড়ে। অ্যালুমিনিয়ামের উপর লঘু নাইট্রিক অ্যাসিড খুব সামান্যই ক্রিয়াশীল। অতি লঘু নাইট্রিক অ্যাসিড ম্যাগনেসিয়াম এবং ম্যাঙ্গানিজের সঙ্গে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে। টিন, আর্সেনিক ও অ্যান্টিমনি এই অ্যাসিডের ক্রিয়ায় অক্সাইডে পরিণত হয়। তবে অধিকাংশ ক্ষেত্রে ধাতব নাইট্রেট লবণ গঠিত হয় এবং নাইট্রিক অ্যাসিড নাইট্রোজেনের অক্সাইড বা অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটে পরিণত হয়। যে-কোনো ধাতুর উপর অ্যাসিডটির ক্রিয়ায় বস্তুতঃ অ্যাসিডটির জারক ধর্ম ও অ্যাসিড ধর্ম-এই দ্বিবিধ ধর্মই প্রকাশিত হয়। তাই এই ধরনের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের প্রকৃতি মূলতঃ (i) অ্যাসিডের ঘনত্ব, (ii) উষ্ণতা, (iii) ধাতুর প্রকৃতি এবং (iv) দ্রবণে বিক্রিয়াজাত পদার্থের ধর্মের উপর নির্ভর করে।

(a) যে-সব ধাতুর বিদ্যুৎ-বিভবসারিতে হাইড্রোজেনের উপরে স্থান যেমন Zn, Mg, Fe, Cd ইত্যাদি, তাদের সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় প্রথমে জায়মান হাইড্রোজেন (Nascent hydrogen) উৎপন্ন হয়।

এই জায়মান হাইড্রোজেন নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে ধাতু-

বিশেষে নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইড, অ্যামোনিয়া ও অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট উৎপন্ন করে এবং নিজে জারিত হয়ে জলে পরিণত হয়। অ্যাসিড যত লঘু হবে, সেটা তত সহজে বিজারিত হবে। এজন্য অতি লঘু অ্যাসিড ও জিঙ্কের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট উৎপন্ন হয়।

HNO_3-এর ক্রমবিজারণে নাইট্রোজেনের জারণ-সংখ্যা লক্ষ্য করলেই সেটা ভাল বোঝা যায়।

$$\overset{+V}{HNO_3} \longrightarrow \overset{+IV}{N_2O_4} \longrightarrow \overset{+III}{N_2O_3} \longrightarrow \overset{+II}{NO} \longrightarrow \overset{+I}{N_2O} \rightarrow \overset{0}{N_2} \longrightarrow \overset{-III}{NH_3}$$

এই সূত্রানুসারে জিঙ্কের সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া নীচে দেখানো হল।

$$Zn + 2HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + 2H$$
$$2HNO_3 = H_2O + 2NO_2 + O$$
$$2H + O = H_2O$$
$$Zn + 4HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

(b) Cu, Ag, Hg ইত্যাদি যে-সকল ধাতুগুলি বিদ্যুৎ-বিভবসারিতে হাইড্রোজেনের নীচে থাকে. তাদের ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটিতে প্রথমে জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন না হয়ে ধাতব অক্সাইড উৎপন্ন হয়। পরে এই অক্সাইড অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয় এবং নাইট্রেট লবণ গঠন করে।

$$3Cu + 2HNO_3 = 8CuO + 2NO + H_2O$$
$$3CuO + 6HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 3H_2O$$
$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

নাইট্রিক অ্যাসিড গাঢ় হলে, তা উৎপন্ন NO-কে NO_2-এ জারিত করে।

$$2HNO_3 + NO = 3NO_2 + H_2O.$$

নাইট্রিক অ্যাসিডে অল্প পরিমাণে নাইট্রাস অ্যাসিড মিশ্রিত থাকে। এই নাইট্রাস অ্যাসিড Cu, Ag, Hg ইত্যাদি ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে প্রথমে নাইট্রাইট লবণ গঠন করে। পরে এই নাইট্রাইট লবণ নাইট্রিক অ্যাসিডের দ্বারা নাইট্রেট লবণে জারিত হয়।

$$Cu + 4HNO_2 = Cu(NO_2)_2 + 2NO + 2H_2O$$
$$Cu(NO_2)_2 + 2HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2HNO_2$$

বিক্রিয়ার গতিবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে নাইট্রাস অ্যাসিডের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়, ফলে, বিক্রিয়াটি আরোও সহজে সংঘটিত হয়।

$$HNO_3 + 2NO + H_2O = 3HNO_2$$

ইউরিয়া, $CO(NH_2)_2$, বা হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড মিশ্রিত নাইট্রিক অ্যাসিড কপারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। কারণ সেক্ষেত্রে উৎপন্ন নাইট্রাস অ্যাসিড ঐসব বিজারক দ্রব্য দ্বারা বিয়োজিত হয়ে যায়।

কয়েকটি প্রধান ধাতুর সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া নীচে দেখানো হল।

(1) কপার (Cu) :

(a) $Cu+4HNO_3$ (গাঢ় ও উষ্ণ) $=Cu(NO_3)_2+2NO_2+2H_2O$

(b) $3Cu+8HNO_3$ (মাঝারি গাঢ় ও ঠাণ্ডা) $=3Cu(NO_3)_2+2NO+4H_2O$

(c) $4Cu+10HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=4Cu(NO_3)_2+N_2O+5H_2O$

(d) $5Cu$ (উত্তপ্ত) $+2HNO_3$ (বাষ্প) $=5CuO+N_2+H_2O$

এই বিক্রিয়ার দ্বারা নাইট্রিক অ্যাসিডে নাইট্রোজেনের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

(2) জিঙ্ক (Zn) :

(a) $4Zn+10HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=4Zn(NO_3)_2+N_2O+5H_2O$

$4Zn+10HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=4Zn(NO_3)_2+NH_4NO_3+3H_2O$

(b) $Zn+4HNO_3$ (গাঢ় ও উষ্ণ) $=Zn(NO_3)_2+2NO_2+2H_2O$

(c) $3Zn+8HNO_3$ (মাঝারি গাঢ় ও ঠাণ্ডা) $=3Zn(NO_3)_2+2NO+4H_2O$

(3) মারকারি (Hg) :

(a) $Hg+4HNO_3$ (গাঢ় ও উষ্ণ) $=Hg(NO_3)_2+2NO_2+2H_2O$

(b) $6Hg+8HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=3Hg_2(NO_3)_2+2NO+4H_2O$

(4) আয়রন (Fe) :

(a) $Fe+4HNO_3$ (লঘু ও উষ্ণ) $=Fe(NO_3)_3+NO+2H_2O$

(b) $4Fe+10HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=4Fe(NO_3)_2+NH_4NO_3+3H_2O$

(c) অতি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় আয়রন দ্রবীভূত হয় না, উপরন্তু "অকেজো" (Passive) আয়রনে পরিণত হয়।

(5) **টিন (Sn) :**

(a) $5Sn+20HNO_3=H_2Sn_5O_{11}, 4H_2O+5H_2O+20NO_2$

(গাঢ়) মেটাস্ট্যানিক অ্যাসিড

উত্তাপে এই মেটাস্ট্যানিক অ্যাসিড ভেঙ্গে যায় এবং জল ও স্ট্যানাস অক্সাইডে পরিণত হয়।

(b) $4Sn+10HNO_3=4Sn(NO_3)_2+NH_4NO_3+H_2O$

(লঘু ও ঠাণ্ডা)

(6) **ম্যাগনেসিয়াম (Mg) ও ম্যাঙ্গানিজ (Mn) :**

$Mg+2HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=Mg(NO_3)_2+H_2$

$Mn+2HNO_3$ (লঘু ও ঠাণ্ডা) $=Mn(NO_3)_2+H_2$

এই বিক্রিয়ার দ্বারা নাইট্রিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেনের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

অম্লরাজ (Aqua-regia) : তিন ভাগ গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে একভাগ গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড মিশিয়ে যে-দ্রবণ পাওয়া যায় তাকে বলা হয় অম্লরাজ। এই মিশ্রণে নাইট্রোসিল ক্লোরাইড ও জায়মান ক্লোরিন উৎপন্ন হয়। এই জায়মান ক্লোরিনের জন্যই অম্লরাজ তীব্র জারক দ্রব্য।

$$HNO_3+3HCl=NOCl+2H_2O+2Cl$$

অম্লরাজ ধাতুর রাজা সোনাকে দ্রবীভূত করে বলে এর এরূপ নামকরণ হয়েছে।

$$Au+4HCl+HNO_3=HAuCl_4+NO+2H_2O$$

নাইট্রিক অ্যাসিড এবং নাইট্রেট মূলকের সনাক্তকরণ :

(i) নাইট্রিক অ্যাসিড নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে।

(ii) নাইট্রিক অ্যাসিড বা নাইট্রেট লবণকে কপারের ছিলা ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড সহযোগে উত্তপ্ত করলে বাদামী বর্ণের NO_2 গ্যাস নির্গত হয়। $KNO_3+H_2SO_4=KHSO_4+HNO_3$

$$Cu+4HNO_3=Cu(NO_3)_2+2NO_2+2H_2O$$

(iii) একটি টেষ্ট টিউবে নাইট্রিক অ্যাসিড বা নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ নিয়ে তার মধ্যে ফেরাস সালফেটের সংপৃক্ত দ্রবণ মেশানো হল। এবার টেষ্ট টিউবটিকে কাত করে রেখে তার গা বেয়ে খুব ধীরে ও সতর্কতার সঙ্গে গাঢ় ও ঠাণ্ডা সালফিউরিক অ্যাসিড ঐ মিশ্রণে ঢাললে মিশ্রণ ও সালফিউরিক অ্যাসিডের সংযোগস্থলে একটি বাদামী বর্ণের দুস্থিত (Unstable) বলয় তৈরী হয়। এই নিরীক্ষায় HNO_3 প্রথমে ফেরাস সালফেট দ্বারা বিজারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। পরে এই NO গ্যাস ফেরাস সালফেট

দ্রবণে দ্রবীভূত হয় এবং ফেরাস নাইট্রোসিল সালফেট $[Fe(NO)]SO_4$ গঠন করে। এই যৌগই বাদামী বর্ণের বলয়। **বলয় তৈরী হয় বলে এই পরীক্ষাকে বলয় পরীক্ষা বলে (Ring test) ঃ**

$$2HNO_3+6FeSO_4+3H_2SO_4=3Fe_2(SO_4)_3+2NO+4H_2O$$

$$FeSO_4+NO=[Fe(NO)]SO_4$$

(iv) কয়েক ফোঁটা নাইট্রিক অ্যাসিড বা নাইট্রেট দ্রবণ একটি বেসিনে নেওয়া হল। এখন এর মধ্যে ব্রুসিন (Brucine) নামক জৈব যৌগ ঢাললে মিশ্রণটি তৎক্ষণাৎ উজ্জ্বল লালবর্ণ (Rose red colour) ধারণ করে।

(v) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে ডাই-ফিনাইলঅ্যামিন (Diphenylamine) দ্রবণের মধ্যে এক ফোঁটা নাইট্রিক অ্যাসিড ঢাললে মিশ্রণটি গাঢ় নীলবর্ণ ধারণ করে।

নাইট্রিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ (i) পরীক্ষাগারে বিভিন্ন পরীক্ষায় বিক্রিয়ক হিসাবে অ্যাসিডটি প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। (ii) অনেক বিস্ফোরক পদার্থ তৈরী করতে নাইট্রিক অ্যাসিডের প্রয়োজন হয়। যথা—নাইট্রোগ্লিসারিন, টি. এন. টি. (Tri-nitro-toluene), পিকরিক অ্যাসিড, ডিনামাইট (কিসেল্‌গুরে শোষিত নাইট্রোগ্লিসারিন) প্রভৃতি। (iii) সেলুলয়েড, কৃত্রিম রেশম, কৃত্রিম রঙ প্রভৃতি উৎপাদনে নাইট্রিক অ্যাসিডের যথেষ্ট চাহিদা আছে। (iv) সালফিউরিক অ্যাসিড, কোলটার রঙ (Coal tar colour), নাইট্রেট লবণ এবং সার প্রভৃতির শিল্পোৎপাদনে নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

14.3 ফসফরাস অ্যাসিড (Phosphorus acid ; H_3PO_3) ঃ ফসফরাস অ্যাসিড হাইড্রোজেন, ফসফরাস ও অক্সিজেনের একটি ত্রিমৌলিক যৌগ। এটি ফসফরাসের একটি অক্সি-অ্যাসিড। অ্যাসিডটিকে প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না।

প্রস্তুত প্রণালীসমূহ ঃ (1) ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইডের (PCl_3) মধ্যে ঠাণ্ডা জল মেশালে সেটি আর্দ্রবিশ্লেষিত হয় এবং ফসফরাস অ্যাসিড ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গঠন করে।

$$PCl_3+3H_2O=H_3PO_3+3HCl$$

বিক্রিয়াটিতে বিস্ফোরণ ঘটার সম্ভাবনা থাকে ; তাই প্রথমে ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইডের সঙ্গে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড মেশানো হয়। এতে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। পরে দ্রবণটিকে 180°C উষ্ণতায়

উত্তপ্ত করলে দ্রবণ থেকে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস সম্পূর্ণরূপে দূরীভূত হয়। এখন দ্রবণকে ঠাণ্ডা করলে ফসফরাস অ্যাসিড স্ফটিকাকারে কেলাসিত হয়।

(2) ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইডকে (P_2O_3) ঠাণ্ডা জলে দ্রবীভূত করলে ফসফরাস অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$P_2O_3+3H_2O=2H_3PO_3$$

(3) ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইড (PCl_3) ও অক্সালিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে যে দ্রবণ পাওয়া যায় তাকে ঠাণ্ডা করলে ফসফরাস অ্যাসিড স্ফটিকাকারে কেলাসিত হয়।

$$PCl_3+3(COOH)_2=H_3PO_3+3CO+3CO_2+3HCl$$

ভৌত ধর্ম ঃ (i) বিশুদ্ধ ফসফরাস অ্যাসিড সাদা, কেলাসিত উদগ্রাহী কঠিন পদার্থ (ii) এটি জলে দ্রবণীয়। (iii) অ্যাসিডটির গলনাঙ্ক 73·6°C, কিন্তু 200°C উষ্ণতায় এটি বিয়োজিত হয় এবং ফসফিন গ্যাস ও ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$4H_3PO_3=PH_3+3H_3PO_4$$

(iv) ফসফরাস অ্যাসিড দ্রবণ বাষ্পীভূত করলে একটি সিরাপের ন্যায় তরল পাওয়া যায়। এটি 70·1°C উষ্ণতায় কেলাসিত হয়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (i) ফসফরাস অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়। লঘু দ্রবণে হাইড্রোজেন ফসফাইট আয়ন (HPO_3^{-}) উৎপন্ন হয়।

$$H_3PO_3 \rightleftharpoons H^{+}+H_2PO_3^{-}\ ;\ \ H_2PO_3^{-} \rightleftharpoons H^{+}+HPO_3^{--}$$

ফসফরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ দ্বি-ক্ষারকীয় মৃদু অ্যাসিড। এটি নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় দুই রকমের লবণ গঠন করে। যথা ঃ প্রাইমারী লবণ এবং সেকেণ্ডারী লবণ।

$$NaOH+H_3PO_3=NaH_2PO_3+H_2O\ ;$$

$$NaH_2PO_3+NaOH=Na_2HPO_3+H_2O$$

লবণগুলি জলে দ্রবণীয়। জলীয় দ্রবণে প্রাইমারী ফসফাইট অ্যাসিডিক, কিন্তু সেকেণ্ডারী ফসফাইট ঈষৎ ক্ষারকধর্মী।

$$NaH_2PO_3 \rightleftharpoons H_2PO_3^{-}+Na^{+}\ ;\ H_2PO_3^{-} \rightleftharpoons H^{+}+HPO_3^{--}$$

$$Na_2HPO_3+H_2O \rightleftharpoons NaH_2PO_3+NaOH$$

(ii) ফসফরাস অ্যাসিডে জিঙ্ক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড মিশিয়ে

উত্তপ্ত করলে ফসফরাস অ্যাসিড উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা ফসফিনে বিজারিত হয়। $H_3PO_3+6H=PH_3+3H_2O$

(iii) **বিজারণ ক্রিয়া :** H_3PO_3-তে-P-এর জারণ-সংখ্যা +III, কিন্তু যুক্তাবস্থায় P-এর জারণ-সংখ্যা +V, +IV, III, +I, −III হতে পারে। সুতরাং H_3PO_3 সহজেই নিজে H_3PO_4-এ জারিত হতে পারে। অর্থাৎ এটি একটি বিজারক দ্রব্য। জলীয় দ্রবণে গোল্ড, সিলভার, মারকারি, কপার লবণকে ফসফরাস অ্যাসিড বিজারিত করে ধাতুর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে এবং নিজে ফসফরিক অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$2AgNO_3+H_3PO_3+H_2O=2Ag+H_3PO_4+2HNO_3$$
$$2AuCl_3+3H_3PO_3+3H_2O=2Au+3H_3PO_4+6HCl$$
$$CuSO_4+H_3PO_3+H_2O=Cu+H_2SO_4+H_3PO_4$$
$$2HgCl_2+H_3PO_3+H_2O=Hg_2Cl_2+H_3PO_4+2HCl$$
$$Hg_2Cl_2+H_3PO_3+H_2O=2Hg+H_3PO_4+2HCl$$

(iv) ফসফরাস অ্যাসিড সালফার ডাইঅক্সাইড ও ফসফরাস পেণ্টা-ক্লোরাইডকে যথাক্রমে সালফার ও ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইডে বিজারিত করে।

$$SO_2+2H_3PO_3=S+2H_3PO_4$$
$$3PCl_5+H_3PO_3=PCl_3+3POCl_3+3HCl$$

ফসফরাস অ্যাসিডের সনাক্তকরণ : (i) ফসফরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিড ধর্মী। এটি নীল লিটমাসকে লাল করে। (ii) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে এই অ্যাসিড মেশালে কালোবর্ণের ধাতব সিলভার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(iii) ফসফরাস অ্যাসিডের সঙ্গে জিঙ্ক ও লঘু অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে পচা মাছের গন্ধযুক্ত ফসফিন গ্যাস নির্গত হয়।

14.4 অর্থোফসফরিক অ্যাসিড (Ortho phosphoric acid; H_3PO_4) : ফসফরাসের অক্সিঅ্যাসিডগুলির মধ্যে অর্থোফসফরিক অ্যাসিড সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ। 1743 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ম্যারগ্রাফ (Marggraf) ফসফরাসকে পুড়িয়ে এই অ্যাসিডটি প্রস্তুত করেন। এই অ্যাসিড সাধারণতঃ প্রকৃতিতে মুক্তাবস্থায় পাওয়া যায় না।

প্রস্তুত প্রণালীসমূহ : (1) **পরীক্ষাগারের পদ্ধতি :** সাধারণত : লাল ফসফরাস, গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও আয়োডিনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে ফসফরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়।

$$P_4+10HNO_3+H_2O=4H_3PO_4+5NO+5NO_2$$

এই বিক্রিয়ায় আয়োডিন অনুঘটক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। মূল বিক্রিয়াটির উপর আয়োডিনের যে প্রভাব আছে তা কয়েকটি বিক্রিয়ার দ্বারা নীচে দেখানো হল।

$$P+3I=PI_3$$

$$PI_3+3H_2O=H_3PO_3+3HI$$

$$3HI+3HNO_3=3H_2O+3NO_2+3I$$

$$H_3PO_3+2HNO_3=H_3PO_4+2NO_2+H_2O$$

$$P+5HNO_3=H_3PO_4+5NO_2+H_2O$$

একটি বড় ফ্লাস্ক নিয়ে তার সঙ্গে একটি ঠাণ্ডা জলের রিফ্লাক্স শীতক (Reflux Condenser) লাগানো হয়। এখন ফ্লাস্কের মধ্যে লাল ফসফরাস, গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও কঠিন আয়োডিনের কয়েকটি টুকরো নেওয়া হয় এবং জলীয় বাষ্পের সাহায্যে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি সম্পন্ন হওয়ার পর উৎপন্ন দ্রবণটিকে একটি চীনা মাটির পাত্রে ঢালা হয় এবং 180°C উষ্ণতায় দ্রবনটিকে ঘনীভূত করলে সিরাপের ন্যায় ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। 180°C-এর বেশী তাপমাত্রায় দ্রবনটিকে ঘনীভূত করলে ফসফরিক অ্যাসিডের কিছু অংশ মেটা ফসফরিক অ্যাসিডে (HPO_3) পরিণত হয়।

$$2H_3PO_4 \rightleftharpoons 2HPO_3+2H_2O$$

বিশুদ্ধি করণ : সিরাপি ফসফরিক অ্যাসিডকে হিম-মিশ্রনের উপর অবস্থিত গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ডেসিকেটারে রেখে ঠাণ্ডা করলে ফসফরিক অ্যাসিডের বিশুদ্ধ বর্ণহীন কেলাস গঠিত হয়।

(2) আম্লিক ফসফরাস পেন্টাঅক্সাইডকে ফুটন্ত জলে খুব ধীরে ধীরে দ্রবীভূত করলে ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। কিন্তু জল ঠাণ্ডা হলে মেটাফসফরিক অ্যাসিড তৈরী হয়।

$$P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4\ ;\ P_2O_5+H_2O\ (\text{ঠাণ্ডা})=2HPO_3$$

(3) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড (PCl_5) জলে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় এবং ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$PCl_5+4H_2O=H_3PO_4+5HCl$$

(4) **শিল্প পদ্ধতি :** সীসা দিয়ে মোড়া একটি পাত্রে খনিজ ফসফেট বা অস্থি-ভস্মচূর্ণ ও মাঝারি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ নেওয়া হয়। মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে ফসফরিক অ্যাসিড ও ক্যালসিয়াম

সালফেট গঠিত হয়। অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম সালফেটকে পরিস্রাবণের সাহায্যে আলাদা করা হয়। পরিস্রুত দ্রবণকে ঘনীভূত করলেই সিরাপের মত ঘন ফসফরিক অ্যাসিড দ্রবণ পাওয়া যায়। এতে 85% ফসফরিক অ্যাসিড থাকে (ঘনত্ব 1·7)।

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 3CaSO_4 + 2H_3PO_4$$

ধর্ম : (a) ভৌত ধর্ম: (i) ফসফরিক অ্যাসিড বর্ণহীন সিরাপের ন্যায় তরল পদার্থ, (ii) সিরাপি অ্যাসিডকে শীতল শোষকাধারে দিনকয়েক রেখে দিলে ফসফরিক অ্যাসিডের বিশুদ্ধ, বর্ণহীন, কেলাসিত উদগ্রাহী (Deliquescent) কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়। এই কেলাসিত কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক 42·4°C এবং এটি জলে অতিমাত্রায় দ্রবনীয়।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) ফসফরিক অ্যাসিড তাপপ্রয়োগে বিয়োজিত হয় এবং তাপমাত্রাভেদে বিভিন্ন অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$2H_3PO_4 \rightleftharpoons H_4P_2O_7 + H_2O \quad (213°C)$$

পাইরোফসফরিক অ্যাসিড

$$H_4P_2O_7 \rightleftharpoons 2HPO_3 + H_2O \quad (316°C)$$

মেটা-ফসফরিক অ্যাসিড

$$2HPO_3 \rightleftharpoons P_2O_5 + H_2O \quad (>316°C)$$

(ii) ফসফরিক অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়।

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^- \; ; \; H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{--}$$

$$HPO_4^{--} \text{ (ক্ষারদ্রবণে) } \rightleftharpoons H^+ + PO_4'''$$

সুতরাং ফসফসিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ একটি ত্রি-ক্ষারকীয় মৃদু অ্যাসিড। এই জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লালকরে এবং লবণ বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রাইমারী, সেকেণ্ডারী এবং টারসিয়ারী তিনরকমের ফসফেট লবণ গঠন করে।

প্রাইমারী ফসফেট—NaH_2PO_4 (মনোসোডিয়ামহাইড্রোজেন ফসফেট)
সেকেণ্ডারী ফসফেট—Na_2HPO_4 (ডাই-সোডিয়াম মনোহাইড্রোজেন ফসফেট)
টারসিয়ারী ফসফেট—Na_3PO_4 (ট্রাই-সোডিয়াম ফসফেট)

$$2NaOH + H_3PO_4 = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + H_3PO_4 = 2NaH_2PO_4$$

$$Na_2HPO_4 + NaOH = Na_3PO_4 + H_2O$$

এই লবণগুলি জলে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়। Na_2HPO_4-এর জলীয় দ্রবণটি মৃদুক্ষারধর্মী এবং Na_3PO_4-এর জলীয় দ্রবণের তীব্র ক্ষারধর্ম দেখা যায়।

$Na_2HPO_4+H_2O \rightleftharpoons NaH_2PO_4+NaOH$

$Na_3PO_4+H_2O \rightleftharpoons Na_2HPO_4+NaOH$

কিন্তু প্রাইমারী ফসফেটের জলীয় দ্রবণ মৃদু অ্যাসিড ধর্মী।

$NaH_2PO_4 \rightleftharpoons Na^++H_2PO_4^-$; $H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^++HPO_4^{--}$

ফসফরিক অ্যাসিড এবং ফসফেট মূলকের সনাক্তকরণ ঃ

(i) একটি চারকোল-ব্লকে ফসফেট লবণ নিয়ে তার সঙ্গে দুই তিন ফোঁটা কোবাল্ট নাইট্রেট দ্রবণ মিশিয়ে জারণ-শিখাতে (Oxidising flame) উত্তপ্ত করলে ঘন নীল বর্ণের পদার্থ উৎপন্ন হয়।

$Na(NH_4)(HPO_4)=NaPO_3+NH_3+H_2O$

$NaPO_3+CoO=NaCoPO_4$ (নীল পদার্থ)

(ii) ফসফরিক অ্যাসিড বা ফসফেট লবণ, গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও অ্যামোনিয়াম মলিবডেট [$(NH_4)_2MoO_4$] দ্রবণের মিশ্রণ একটি টেস্ট টিউবে নিয়ে সামান্য উত্তপ্ত করলেই অ্যামোনিয়াম ফসফোমলিবডেটের পীত অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়।

$$Na_2HPO_4+12(NH_4)_2MoO_4+23HNO_3=$$
$$(NH_4)_3[PMo_{12}O_{40}]+2NaNO_3+21NH_4NO_3+12H_2O$$

(iii) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের সঙ্গে ফসফেট লবণের দ্রবণ মেশালে পীত বর্ণের সিলভার ফসফেটের অধঃক্ষেপ পড়ে।

$2Na_2HPO_4+3AgNO_3=Ag_3PO_4+3NaNO_3+NaH_2PO_4$

(iv) ফসফেট দ্রবণে ম্যাগনেসিয়া মিকশ্চার ($MgCl_2$, NH_4Cl, ও NH_4OH-এর দ্রবণ) যোগ করলে ম্যাগনেসিয়াম অ্যামোনিয়াম ফসফেটের সাদা কেলাসিত অধঃক্ষেপ গঠিত হয়। এই অধঃক্ষেপটি লঘু খনিজ অ্যাসিডে দ্রবণীয়।

$Na_2HPO_4+MgCl_2+NH_4OH=MgNH_4PO_4+2NaCl+H_2O$

উপরিউক্ত ম্যাগনেসিয়াম অ্যামোনিয়াম ফসফেটকে আলাদা করে নিয়ে পোড়ালে পাইরো-ফসফেট উৎপন্ন হয়। এর ওজন থেকে কোনো পদার্থে ফসফেটের পরিমাণ জানা যায়।

$$2MgNH_4PO_4=Mg_2P_2O_7+2NH_3+H_2O$$

ফসফরিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ (i) ফসফরিক অ্যাসিডের সাহায্যে

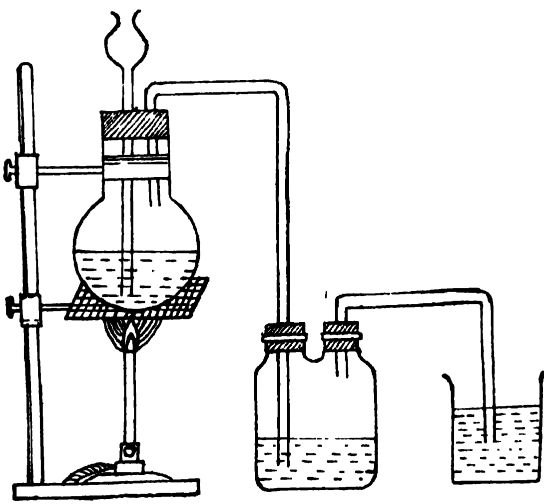
বিভিন্ন ফসফেট লবণ তৈরী করা হয়। সোডিয়াম, পটাসিয়াম ও অ্যামো-নিয়াম ফসফেট ঔষধ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(ii) পরীক্ষাগারে বিভিন্ন পরীক্ষায় বিজারক হিসাবে এই অ্যাসিডকে ব্যবহার করা হয়। আয়তন মাত্রিক বিশ্লেষণে (Volumetric analysis-এ) আয়রনের পরিমাণ নির্ধারণে ফসফরিক অ্যাসিডের ব্যবহার উল্লেখযোগ্য।

(iii) কোনো ধাতব লবণ থেকে অ্যাসিড উৎপাদনে অনেক সময় সালফিউরিক অ্যাসিডের পরিবর্তে ফসফরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয়। যেমন ধাতব ব্রোমাইড ও ধাতব আয়োডাইড লবণের উপর এই অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে HBr ও HI গ্যাস উৎপন্ন হয়।

14.5 সালফিউরাস অ্যাসিড (Sulphurous acid; H_2SO_3) ঃ এটি সালফারের একটি অক্সি-অ্যাসিড] SO_2-এর সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় এই অ্যাসিডটি উৎপন্ন হয়। প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় সালফিউরাস অ্যাসিড পাওয়া যায় না।

প্রস্তুত প্রণালীসমূহ ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ নীতি ঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডকে উত্তপ্ত অবস্থায় ধাতব কপারের দ্বারা বিজারিত



14. 5. 1 নং চিত্র

করে পরীক্ষাগারে সালফার ডাই-অক্সাইড তৈরী করা হয়। এই গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করলে উৎপন্ন হয় সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ।

$$2H_2SO_4+Cu=CnSO_4+2H_2O+SO_2$$

$$SO_2+H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$$ (সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ)

পরীক্ষা: দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নল যুক্ত একটি গোলতল ফ্লাস্কে কিছুটা তামার কুচি নিয়ে ত্রিপদ ধারকে বসানো হল। নির্গম-নলের খোলা মুখটি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডে আংশিকভাবে পূর্ণ একটি উলফ বোতলের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। বোতলের অন্য মুখ থেকে আর একটি নির্গম-নলের খোলা মুখকে বীকারে রাখা পাতিত জলের ঠিক উপরিতলের নীচে ডুবিয়ে রাখা হয় (14. 5. 1 নং চিত্র)। এখন দীর্ঘ-নলের সাহায্যে তামার কুচির উপর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ঢালা হল এবং উত্তাপ দেওয়া হল। ফলে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস বীকারে রাখা জলে দ্রবীভূত হয়ে সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ তৈরী করে।

(2) বায়ুর সংস্পর্শে সালফার সালফাইড খনিজ (আয়রন পিরাইটিস, কপার পিরাইটিস বা জিঙ্ক ব্লেণ্ড) পুড়িয়ে সালফার ডাই-অক্সাইড তৈরী করা যায়। পরে এই গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে প্রস্তুত করা হয় সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ।

$$S+O_2=SO_2$$

$$4FeS_2+11O_2=2Fe_2O_3+8SO_2$$

$$Cu_2S,\ Fe_2S_3+4O_2=Cu_2S+2FeO+3SO_2$$

$$2ZnS+3O_2=2ZnO+2SO_2$$

$$SO_2+H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$$

(3) **স্বাভাবিক উষ্ণতার প্রস্তুতি:** সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট দ্রবণে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মেশালে অতি সহজেই সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস উদ্ভূত হয়। পরে একে জলে দ্রবীভূত করে তৈরী করা হয় সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ।

$$NaHSO_3+H_2SO_4=NaHSO_4+H\ O+SO_2$$

$$SO_2+H_2O=H_2SO_3$$

ধর্ম: (i) সালফিউরাস অ্যাসিড অত্যন্ত দুস্থিত (Unstable)। জলীয় দ্রবণ থেকে অ্যাসিডটিকে আলাদা করা যায় না। অ্যাসিডটির জলীয় দ্রবণ আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়।

$$H_2SO_3 \rightleftharpoons H^+ + HSO_3^- \ ;\ HSO_3^- \rightleftharpoons H^+ + SO_3^{--}$$

সুতরাং, সালফিউরাস অ্যাসিড একটি দ্বি-ক্ষারকীয় তীব্র অ্যাসিড। এটি

নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং লবণ বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিড-লবণ ও প্রশম-লবণ গঠন করে।

$$NaOH+H_2SO_3=NaHSO_3+H_2O$$
$$NaHSO_3+NaOH=Na_2SO_3+H_2O$$

এই লবণগুলি জলে দ্রবণীয়। প্রশম-লবণের (Na_2SO_3) জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী। $SO_3^{--}+H_2O \rightleftharpoons HSO_3^{-}+OH^{-}$;

(ii) অ্যাসিডটিকে উত্তপ্ত করলে অ্যাসিড থেকে সমস্ত দ্রবীভূত সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস বেরিয়ে যায়।

(iii) অ্যাসিডের সংপৃক্ত দ্রবণকে খুববেশী ঠাণ্ডা করলে $SO_2, 6H_2O$ কেলাসিত হয়।

(iv) সালফিউরাস অ্যাসিডকে একটি আবদ্ধ নলে নিয়ে 150°C-এ উত্তপ্ত করলে দ্রবণে সালফারের অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$3H_2SO_3=2H_2SO_4+H_2O+S$$

এই পরীক্ষায় সালফিউরাস অ্যাসিডে সালফারের উপস্থিতি প্রমাণিত হয়।

(v) **বিজারণ ক্রিয়াঃ** যুক্তাবস্থায় সালফারের জারণ-সংখ্যা +VI, +IV, −II ইত্যাদি সম্ভব। সালফিউরাস অ্যাসিডে সালফারের জারণ-সংখ্যা +IV ; সুতরাং, সালফিউরাস অ্যাসিড সহজেই সালফিউরিক অ্যাসিডে জারিত হতে পারে অর্থাৎ এটি তীব্র বিজারক দ্রব্য। তাছাড়া সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। এই জায়মান হাইড্রোজেনের জন্য অ্যাসিডটির বিজারক ধর্ম দেখা যায়।

$$H_2SO_3+H_2O \rightleftharpoons SO_4^{--}+4H^{+}+2e$$

অথবা $H_2SO_3+H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4+2H$

সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ, হ্যালোজেন, ফেরিক লবণ, পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, পটাসিয়াম ডাই-ক্রোমেট, মারকিউরিক ক্লোরাইড, মারকিউরাস নাইট্রেট ইত্যাদি দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এগুলিকে বিজারিত করে নিজে সালফিউরিক অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$H_2SO_3+Cl_2+H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4+2HCl$$
$$H_2SO_3+2FeCl_3+H_2O=H_2SO_4+2FeCl_2+2HCl$$
$$H_2SO_3+2HgCl_2+H_2O = Hg_2Cl_2+H_2SO_4+2HCl$$
$$5H_2SO_3+2KMnO_4=H_2SO_4+2KHSO_4+2MnSO_4+3H_2O$$
$$3H_2SO_3+K_2Cr_2O_7+H_2SO_4=Cr_2(SO_4)_3+K_2SO_4+4H_2O$$
$$Hg_2(NO_3)_2+H_2SO_3+H_2O=2Hg+2HNO_3+H_2SO_4$$

(vi) ম্যাগনেসিয়াম পাউডারের সঙ্গে এই অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন গ্যাস উদ্ভূত হয়।

$$Mg+H_2SO_3=MgSO_3+H_2$$

(vii) জিঙ্ক ও লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সালফিউরাস অ্যাসিড বিজারিত হয় এবং হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$Zn+2HCl\ (\text{লঘু})=ZnCl_2+2H$$

$$H_2SO_3+6H=H_2S+3H_2O$$

সালফিউরাস অ্যাসিড এবং সালফাইট মূলকের সনাক্তকরণঃ (i) সালফিউরাস অ্যাসিড বা সালফাইটের জলীয় দ্রবণে বেরিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ মেশালে বেরিয়াম সালফাইটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। অধক্ষেপটি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবণীয়।

$$Na_2SO_3+BaCl_2=BaSO_3+2NaCl$$

(ii) সালফিউরাস অ্যাসিড বা সালফাইটের জলীয় দ্রবণ গোলাপী বর্ণের পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণকে বর্ণহীন করে।

(iii) সালফাইট দ্রবণ আয়োডিন দ্রবণকে বর্ণহীন করে।

(iv) সালফাইট লবণ ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে পোড়া গন্ধকের গন্ধযুক্ত বর্ণহীন SO_2 গ্যাস বের হয়। এই গ্যাসটি পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণ দ্বারা সিক্ত কাগজকে সবুজ করে এবং পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণকে বর্ণহীন করে।

$$Na_2SO_3+H_2SO_4=Na_2SO_4+H_2O+SO_2$$

সালফিউরাস অ্যাসিডের ব্যবহারঃ (i) সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করতে এবং চিনি, কেরোসিন তেল প্রভৃতি পরিশোধনের কাজে সালফিউরাস অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

(ii) অ্যাসিডটি থেকে বিভিন্ন ধাতব সালফাইট এবং বাই সালফাইট লবণ তৈরী করা হয়। সোডিয়াম বাই-সালফাইট ও ক্যালসিয়াম বাই-সালফাইট লবণ কাগজ শিল্পে প্রয়োজন হয়। অনেক সময় ফটোগ্রাফীর কাজে সোডিয়াম মেটা-বাই-সালফাইট লবণ ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

(iii) সাধারণতঃ বিরঞ্জক হিসাবে এই অ্যাসিডের যথেষ্ট চাহিদা দেখা যায়। উল, সিল্ক প্রভৃতি বিরঞ্জনের উদ্দেশ্যে অ্যাসিডটি ব্যবহৃত হয়।

14.6 সালফিউরিক অ্যাসিড (Sulphuric acid ; H_2SO_4):

সমস্ত রাসায়নিক পদার্থের মধ্যে সালফিউরিক অ্যাসিডের ব্যবহার সর্বাধিক। তাই এটিকে বলা হয় 'রাসায়নিক পদার্থের রাজা' (King of chemicals)। মধ্যযুগের বিজ্ঞানীরা হিরাকস ($FeSO_4$, $7H_2O$) থেকে অ্যাসিডটি তৈরী করেন।

$$2FeSO_4 = Fe_2O_3 + SO_2 + SO_3$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

অ্যাসিডটি তখন "অয়েল অব ভিট্রিয়ল" (Oil of vitriol) নামে পরিচিত ছিল। প্রকৃতিতে এই অ্যাসিডটি পাওয়া যায় না।

প্রস্তুত প্রণালীসমূহ ঃ সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাসকে বায়ুর অক্সিজেনের সাহায্যে প্রমাণ চাপে জারিত করে সালফার ট্রাই-অক্সাইডে পরিণত করা যায়। সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস ও জলের মিলনে তৈরী হয় সালফিউরিক অ্যাসিড। কিন্তু সালফার ডাই-অক্সাইডের জারণ সহজে ঘটে না। এই বিক্রিয়ায় অনুঘটকের ব্যবহার একান্ত প্রয়োজন। নাইট্রোজেনের অক্সাইড (ডাই বা ট্রাই-অক্সাইড) এই বিক্রিয়ায় অনুঘটকের কাজ করে।

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 : \quad SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

শিল্পোৎপাদনে (চেম্বার পদ্ধতিতে) এবং পরীক্ষাগারে সালফিউরিক অ্যাসিড প্রস্তুতির একই নীতি।

পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ পরীক্ষাগারে ভাল ছিপি লাগানো একটি বড় ও শক্ত চ্যাপ্টাতল কাচের ফ্লাস্ক নেওয়া হয়। ছিপির মধ্য দিয়ে U-আকৃতির চারটি আগাম-নল ও একটি নির্গম-নল ফিট করা হয়। আগম নলগুলির প্রান্তদেশ ফ্লাস্কের তলদেশের কাছাকাছি থাকে। নির্গম-নলের একটি প্রান্ত ফ্লাস্কের ভিতরে ছিপির তলার দিকে অল্প পরিমাণে বেরিয়ে থাকে। এই চারটি আগাম নলের প্রথমটি যুক্ত থাকে NO উৎপন্ন করার জন্য উলফ বোতলের সঙ্গে। এই বোতলে মাঝারি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও কপার ছিলার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হয় নাইট্রিক অক্সাইড।

$$3Cu + 8HNO_3 = 2NO + 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O$$

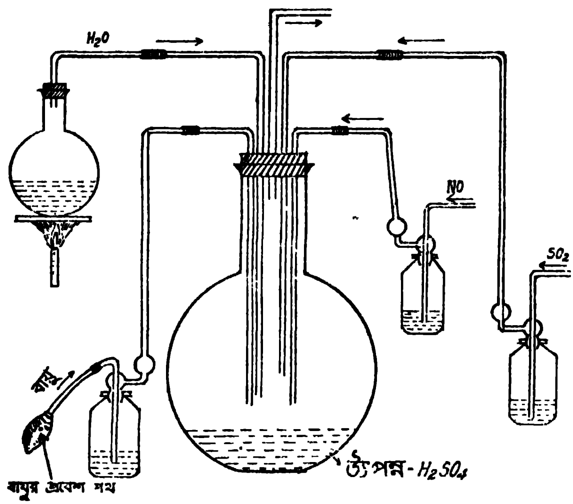
দ্বিতীয়টি সালফার ডাই-অক্সাইড তৈরী করার জন্য ব্যবহৃত উলফ বোতলের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এখানে উষ্ণ ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে কপার ছিলার বিক্রিয়ায় SO_2 গ্যাস প্রস্তুত হয়।

$$2H_2SO_4 + Cu = CuSO_4 + 2H_2O + SO_2$$

তৃতীয়টিকে একটি জল ভরা ফ্লাস্কের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। এখানে জল ফুটিয়ে তৈরী করা হয় স্টীম।

চতুর্থ আগম-নলটি একটি হাপরের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এর সাহায্যে বায়ুর অক্সিজেনকে বিক্রিয়ার ফ্লাস্কে পাঠানো হয়।

নির্গম-নলটি ফ্লাস্কের সঙ্গে বায়ুর সংযোগ সাধন করে (14.6.1. নং চিত্র)।



14. 6. 1নং চিত্র

প্রথমে দুইটি আগম-নলের সাহায্যে ফ্লাস্কের ভিতর শুষ্ক অক্সিজেন ও নাইট্রিক অক্সাইড পাঠানো হয়। এই গ্যাস দুইটির মিলনে NO_2 তৈরী হয় এবং তার লাল ধোঁয়া দেখা যায়। তখন অন্য দুইটি আগম-নলের সাহায্যে সালফার ডাই-অক্সাইড ও স্টীম ফ্লাস্কের ভিতর পাঠানো হয়। ফলে লাল ধোঁয়া ক্রমশঃ ফিকে হতে থাকে এবং ফ্লাস্কের ভিতরের গায়ে একপ্রকার বর্ণহীন কেলাস জমা হয়। এইবার বেশী বায়ু প্রবাহের দ্বারা ফ্লাস্ক থেকে অন্যান্য গ্যাসগুলিকে তাড়িয়ে দেওয়া হয়। এখন অত্যধিক স্টীম প্রবাহের দ্বারা কেলাস গুলিকে বিয়োজিত করা হয়। ফলে সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। ফ্লাস্কের ভিতরকার অতিরিক্ত বায়ু প্রভৃতি নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে যায়।

$$2NO+O_2=2NO_2\ ;\ SO_2+H_2O=H_2SO_3$$

$$H_2SO_3+NO_2=H_2SO_4+NO$$

সালফার ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেনের মিশ্রনকে 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্লাটিনাম বা ভ্যানাডিয়াম পেণ্টক্সাইড (V_2O_5) অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস সালফার ট্রাই-অক্সাইডে জারিত হয়। এই সালফার ট্রাই-অক্সাইডকে জলে দ্রবীভূত করে প্রস্তুত করা হয় সালফিউরিক অ্যাসিড।

$$2SO_2 + O_2 \overset{Pt}{\rightleftharpoons} 2SO_3 \quad (450^\circ C)$$
$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

এই প্রণালী সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনে (Contact Process-এ) ব্যবহৃত হয়।

বিশুদ্ধিকরণ ঃ 98% সালফিউরিক অ্যাসিড ও 2% জলের মিশ্রণে SO_3 গ্যাস প্রবাহিত করে তা সম্পৃক্ত করা হয়। পরে সম্পৃক্ত দ্রবণটিকে অত্যধিক ঠাণ্ডা করলে বিশুদ্ধ সালফিউরিক অ্যাসিডের স্ফটিক উৎপন্ন হয়।

ধর্ম ঃ (a) **ভৌত ধর্ম ঃ** (i) সাধারণ অবস্থায় বিশুদ্ধ সালফিউরিক অ্যাসিড একটি গন্ধহীন, স্বচ্ছ, ভারী এবং তেলের মত তরল পদার্থ। (ii) 10·4°C উষ্ণতায় অ্যাসিডটি কঠিন কেলাসে পরিণত হয়। (iii) তরল সালফিউরিক অ্যাসিড আর্দ্র বায়ুতে ধূমায়িত হয় এবং অল্প পরিমাণে সালফার ট্রাই-অক্সাইডে বিয়োজিত হয়। (iv) সচরাচর আমরা যে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করি তাতে 2% জল থাকে। এটির স্ফুটনাঙ্ক 338°C এবং আ. গু. 1·84। (v) বিশুদ্ধ অ্যাসিডটি তাপ ও বিদ্যুতের মৃদু পরিবাহী। (vi) অ্যাসিডটিকে যে-কোনো অনুপাতে জলের সঙ্গে মেশানো যেতে পারে। মিশ্রণ তৈরীর সময় প্রচুর তাপ উদ্ভূত হয়, ফলে বিস্ফোরণের ভয় থাকে। তাই মিশ্রণ তৈরীর সময়ে জলপূর্ণ পাত্রের গা বেয়ে অ্যাসিডকে ধীরে ধীরে জলে ঢালা হয়।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** (i) সালফিউরিক অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়। লঘু দ্রবণে সালফেট আয়ন তৈরী হয়।

$$H_2SO_4 = H^+ + HSO_4^- \; ; \; HSO_4^- = H^+ + SO_4^{--}$$

সুতরাং, এটি একটি দ্বি-ক্ষারকীয় তীব্র অ্যাসিড এবং নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে। সালফিউরিক অ্যাসিড লবণ বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিড লবণ ও প্রশম লবণ গঠন করে।

$$NaOH + H_2SO_4 = NaHSO_4 + H_2O$$
$$NaHSO_4 + NaOH = Na_2SO_4 + H_2O$$

(ii) সালফিউরিক অ্যাসিড, বিদ্যুৎ-বিভব সারিতে H-এর উপরে অবস্থিত ধাতুর সঙ্গে ও কার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে হাইড্রোজেন গ্যাস ও কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$Mg+H_2SO_4=MgSO_4+H_2$$

$$Na_2CO_3+H_2SO_4=Na_2SO_4+CO_2+H_2O$$

গোল্ড, সিলভার, মারকারি ইত্যাদি ধাতুর সঙ্গে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড কোনো ক্রিয়া করে না।

(iii) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডকে তপ্ত পিউমিক পাথরের উপর ফোঁটা ফোঁটা করে ফেললে অ্যাসিডটি বিয়োজিত হয় এবং সালফার ডাই-অক্সাইড, অক্সিজেন ও জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয়।

$$2H_2SO_4=2SO_2+O_2+2H_2O$$

(iv) জলের প্রতি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের প্রবল আসক্তি আছে। এজন্য বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ নিরুদনের জন্য এই অ্যাসিড ব্যবহার করা হয়। এমনকি চিনি, কাগজ ও স্টার্চ জাতীয় পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনকে জল হিসাবে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড শোষণ করে। ফলে এগুলি বিয়োজিত হয়ে কালোকার্বনে পরিণত হয়।

$$C_{12}H_{22}O_{11}\ (\text{চিনি})+H_2SO_4\ (\text{গাঢ়})=12C+[H_2SO_4,\ 11H_2O]$$

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ফরমিক অ্যাসিড (HCOOH) এবং অক্সালিক অ্যাসিডকে বিয়োজিত করে। এই বিক্রিয়ায় কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$HCOOH+H_2SO_4=CO+[H_2SO_4,\ H_2O]$$

$$(COOH)_2+H_2SO_4=CO+CO_2+[H_2SO_4,\ H_2O]$$

(v) **জারণ ক্রিয়া:** সালফিউরিক অ্যাসিডে সালফারের জারণ-সংখ্যা +VI। কিন্তু যুক্ত অবস্থায় সালফারের জারণ-সংখ্যা +IV, −II হতে পারে। সুতরাং, সালফিউরিক অ্যাসিড সহজেই বিজারিত হতে পারে এবং এটি তীব্র জারক পদার্থ হিসাবে কাজ করে।

গাঢ় ও উষ্ণ সালফিউরিক অ্যাসিড কার্বন, সালফার, প্রভৃতি অধাতব মৌল এবং কপার, সিলভার, জিঙ্ক, লেড প্রভৃতি ধাতব মৌলকে জারিত করে। অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অধাতুর অক্সাইড এবং ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব সালফেট লবণ গঠিত হয়। এই সকল বিক্রিয়ায় সালফিউরিক অ্যাসিড নিজে সালফার ডাই-অক্সাইডে বিজারিত হয়।

$$C+2H_2SO_4=CO_2+2SO_2+2H_2O$$

$$S+2H_2SO_4=3SO_2+2H_2O$$

$$Cu+2H_2SO_4=CuSO_4+SO_2+2H_2O$$

$$Pb+2H_2SO_4=PbSO_4+SO_2+2H_2O$$

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ও হাইড্রোজেন আয়োডাইডকে জারিত করে এবং যথাক্রমে ব্রোমিন ও আয়োডিন মুক্ত করে।

$$2HBr+H_2SO_4=2H_2O+Br_2+SO_2$$

$$2HI+H_2SO_4=2H_2O+I_2+SO_2$$

$$2KBr+2H_2SO_4=K_2SO_4+Br_2+2H_2O+SO_2$$

(vi) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের (PCl_5) সঙ্গে বিক্রিয়ায় সালফিউরিক অ্যাসিডের $-OH$ মূলকদ্বয় ক্লোরিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয় এবং সালফিউরিল ক্লোরাইড (SO_2Cl_2) গঠিত হয়।

$$2PCl_5+SO_2(OH)_2=2POCl_3+2HCl+SO_2Cl_2$$

(vii) সালফিউরিক অ্যাসিড অনেক জৈব যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। এতে ঐ সব জৈব যৌগের হাইড্রোজেন পরমাণু সালফনিক অ্যাসিডমূলক ($-SO_3H$) দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।

$$C_6H_6+SO_2(OH)_2 = C_6H_5SO_3H+H_2O$$

বেনজিন সালফনিক অ্যাসিড

সালফিউরিক অ্যাসিড এবং সালফেট মূলকের সনাক্তকরণ:

(i) সালফিউরিক অ্যাসিড বা সালফেটের জলীয় দ্রবণে বেরিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে বেরিয়াম সালফেটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। এই অধঃক্ষেপটি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে অদ্রবণীয়।

$$Na_2SO_4+BaCl_2=BaSO_4+2NaCl$$

(ii) সালফেটের জলীয় দ্রবণ নিয়ে তার মধ্যে লেড অ্যাসিটেট দ্রবণ ঢাললে সাদা রঙের লেড-সালফেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপটি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে অদ্রবণীয়, কিন্তু অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটে দ্রবীভূত হয়।

$$Na_2SO_4+(CH_3COO)_2Pb=PbSO_4+2CH_3COONa$$

(iii) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও কপার ছিলা একসঙ্গে নিয়ে উত্তপ্ত করলে পোড়া গন্ধকের গন্ধযুক্ত শ্বাসরোধী স্বচ্ছ সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস বের হয়; তা অম্লীকৃত-ডাইক্রোমেট-সিক্ত কাগজকে সবুজ করে।

সালফিউরিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ রাসায়নিক পদার্থের মধ্যে সালফিউরিক অ্যাসিডের চাহিদা সব থেকে বেশী। বাস্তবিক পক্ষে সালফিউরিক অ্যাসিডের উৎপাদন ও ব্যবহার যে কোনো দেশের শিল্প-সমৃদ্ধি নির্দেশ করে।

(i) পরীক্ষাগারে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিকারক হিসাবে এই অ্যাসিডের ব্যবহার অন্যতম।

(ii) এই অ্যাসিডের প্রধান চাহিদা প্রয়োজনীয় বিভিন্ন রাসায়নিক দ্রব্য প্রস্তুতিতে। যথাঃ নাইট্রিক অ্যাসিড, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, সালফেট লবণ, কার্বনেট লবণ, স্টার্চ, গ্লুকোজ, ইথার, কোহল ইত্যাদি।

(iii) নাইট্রোগ্লিসারিন, গানকটন, টি. এন. টি (ট্রাই-নাইট্রো টলুইন) ইত্যাদি বিস্ফোরক পদার্থ প্রস্তুতিতে এবং কৃত্রিম রঙ ও পেণ্টশিল্পে, বস্ত্র-শিল্পে এই অ্যাসিড প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

(iv) গ্যালভানাইজড আয়রন তৈরীতে এবং পেট্রোলিয়াম ও অন্যান্য তেল পরিশোধনের কাজে এটি ব্যবহৃত হয়।

(v) কৃত্রিম সার (অ্যামোনিয়াম সালফেট, সুপার ফসফেট অব্ লাইম), ফটকিরি, নীল প্রভৃতি প্রস্তুতির একটি প্রধান ও অন্যতম উপাদান হল সালফিউরিক অ্যাসিড।

(vi) ওলিয়াম ($H_2S_2O_7$) জৈব-রসায়নে সালফোনেসন্ (Sulphonation) বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।

[100% H_2SO_4-এ দ্রবীভূত SO_3 থাকলে তাকে ওলিয়াম বলে।]

প্রশ্নাবলী

1. নাইট্রোজেনের এমন দুইটি অক্সি-অ্যাসিডের নাম কর যাতে নাইট্রোজেনের জারণ সংখ্যা $+III$ ও $+V$। অ্যাসিড দুইটির একটি করে প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা কর। কোন পরীক্ষার দ্বারা অ্যাসিড দুইটিকে সনাক্ত করা যাবে ?

2. "নাইট্রাস অ্যাসিড জারণ এবং বিজারণ উভয় ধর্ম প্রকাশ করে"—উক্তিটি কারণ ও উদাহরণ সহযোগে ব্যাখ্যা কর।

3. একটি কঠিন পদার্থ (A) নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় একটি বর্ণহীন গ্যাস (B) নির্গত করে। B—গ্যাসটি অপর একটি গ্যাসীয় পদার্থ C—এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত একটি গ্যাস (D)।

D অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে একটি অ্যাসিড (E) যেটি ঠাণ্ডা ও লঘু অবস্থায় একমাত্র Mg ও Mn-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় B গ্যাসটি উৎপন্ন করে। B—গ্যাসটি দহনের ফলে উৎপন্ন করে একটি অক্সাইড যেটি অনার্দ্র সাদা কপার সালফেটকে নীল করে। উপযুক্ত সমীকরণ সহযোগে ঘটনাবলী ব্যাখ্যা কর এবং (A), (B), (C), (D) ও (E) সনাক্ত কর।

4. **কারণ দর্শাও :**

(a) পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের দ্রবণ নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ; কিন্তু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়াহীন। (b) অতি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড আয়রনকে নিষ্ক্রিয় করে দেয়। (c) নাইট্রেট লবণ থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয় না। (d) সাল-ফিউরাস অ্যাসিড ও সালফিউরিক অ্যাসিড যথাক্রমে বিজারক ও জারক দ্রব্য।

5. নাইট্রাস ও নাইট্রিক উভয় অ্যাসিডেই নাইট্রোজেন আছে প্রমাণ কর। উভয়েই যে এক-ক্ষারকীয় অ্যাসিড তা কিভাবে প্রমাণ করা যায় ?

6. সালফাইট লবণ ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় নির্গত হয় একটি গ্যাস যার জলীয় দ্রবণ অ্যাসিডিক এবং এই জলীয় দ্রবণ পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণকে বর্ণহীন করে। অম্লটি কি ? রাসায়নিক সমীকরণ সহযোগে উপরিউক্ত ঘটনাবলী ব্যাখ্যা কর। এই অ্যাসিডটির সঙ্গে ফেরিক ক্লোরাইড ও আয়োডিনের কি বিক্রিয়া ঘটে ?

7. গাঢ় ও উত্তপ্ত নাইট্রিক অ্যাসিডের মধ্যে এক টুকরো গন্ধক যোগ করে তাতে বেরিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ মেশালে কি ঘটে ? কেন ঘটে ? সাল-ফিউরাস অ্যাসিডকে সালফিউরিক অ্যাসিডে এবং সালফিউরিক অ্যাসিডকে কিভাবে সালফিউরাস অ্যাসিডে রূপান্তরিত করা যায় ?

8. একটি কঠিন মৌলিক পদার্থ (A) অনুঘটকের উপস্থিতিতে বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় একটি আম্লিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। উৎপন্ন অক্সাইডটি জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে অ্যাসিড, B, শীতল অবস্থায় যেটির বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ ঘটালে একটি দ্বি-ক্ষারকীয় অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। দ্বি-ক্ষারকীয় অ্যাসিডটির আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটালে উৎপন্ন হয় অ্যাসিড, B এবং হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড। ঘটনাবলী ব্যাখ্যা কর এবং (A) ও (B)-এর পরিচয় দাও।

9. গাঢ় ও উত্তপ্ত নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে ফসফরাসের বিক্রিয়ায় একটি

অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। অ্যাসিডটি কি? পরীক্ষাগারে কিভাবে এটি প্রস্তুত করা হয়?

10. একটি কঠিন মৌল, A গাঢ় ও তপ্ত সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করে একটি বর্ণহীন গ্যাসীয় পদার্থ, B যেটি ফসফরাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় পুনরায় A মৌলটি উৎপন্ন করে। B, অ্যাসিড যুক্ত ডাইক্রোমেট দ্রবণকে সবুজ করে। A ও B সনাক্ত কর। প্রতিক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়া উল্লেখ করবে।

11. ফসফরাস অ্যাসিডের একটি প্রস্তুত প্রণালীর বর্ণনা দাও। এটির বিজারণ ধর্মের উদাহরণ দাও ও তার কারণ উল্লেখ কর। অ্যাসিডটি কিভাবে সনাক্ত করা যায়।

পঞ্চদশ অধ্যায়

কতকগুলি হাইড্রাইড

(Some Hydrides)

15.1 অ্যামোনিয়া (Ammonia ; NH_3) ঃ এটি নাইট্রোজেনও হাইড্রোজেনের একটি যৌগ। প্রিষ্টলী (Priestley, 1774) সর্বপ্রথম গ্যাসটি আবিষ্কার করেন। বায়ুতে ও জলে অতি সামান্য অ্যামোনিয়া আছে। প্রাণী ও উদ্ভিদ দেহের সন্ধান, পচন এবং অন্তর্ধূম পাতন থেকে অ্যামোনিয়া গ্যাস পাওয়া যায়। জীবজন্তুর মূত্র থেকে গ্যাসটি উদ্ভূত হয়।

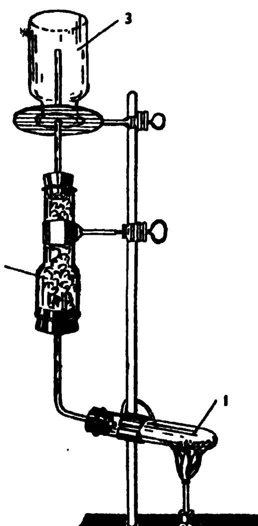
প্রস্তুত-প্রণালীসমূহ ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ অ্যামোনিয়া ঘটিত লবণের সঙ্গে তীব্র ক্ষারকের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH = 2NH_3 + 2H_2O + Na_2SO_4$$

$$2NH_4Cl + CaO = 2NH_3 + CaCl_2 + H_2O$$

সাধারণতঃ অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও শুষ্ক কলিচুন উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে অ্যামোনিয়া গ্যাস প্রস্তুত করা হয়।

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = 2NH_3\uparrow + CaCl_2 + 2H_2O$$



1. টেষ্টটিউব 2. চুন-টাওয়ার 3. গ্যাসজার

15.1. 1নং চিত্র

1:3 অনুপাতে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও শুষ্ক কলিচুন মিশিয়ে একটি কাঁচের টেষ্টটিউবে নেওয়া নয়। ছিদ্রযুক্ত কর্কের সাহায্যে একটি নির্গম-নল তার সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়। নির্গম-নলের খোলা মুখটি শুষ্ক চুনের টাওয়ারের সঙ্গে যুক্ত থাকে। চুন-টাওয়ার থেকে একটি নির্গম-নল উপুড় করা গ্যাস জারে প্রবেশ করানো হয়। টেষ্টটিউবে উত্তাপ দিলেই (15.1.1 নং চিত্র) অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হবে এবং পোড়া চুনের টাওয়ারে শুষ্ক হয়ে বায়ুর নিম্ন অপসারণ

দ্বারা গ্যাস জারে সঞ্চিত হবে। গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে হালকা, তাই এটিকে বায়ুর নিম্নাপসারন দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য: (i) অ্যামোনিয়া গ্যাস ক্ষারকধর্মী এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড বা P_2O_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে। তাই অ্যামোনিয়া প্রস্তুতিতে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড বা P_2O_5-কে নিরুদকরূপে ব্যবহার করা যায় না। বিগলিত $CaCl_2$- ও অ্যামোনিয়ার সঙ্গে যুত যৌগ ($CaCl_2$, $8NH_3$) গঠন করে। অপর পক্ষে, চুন ক্ষারধর্মী। সুতরাং, অ্যামোনিয়া প্রস্তুতিতে চুনকে নিরুদকরূপে ব্যবহার করা সুবিধেজনক।

(ii) অ্যামোনিয়া গ্যাস জলে অতিমাত্রায় দ্রবণীয়। এজন্য এই গ্যাসকে জল-অপসারণ পদ্ধতিতে সংগ্রহ করা যায় না।

(2) নাইট্রাইট বা নাইট্রেট লবণে জিঙ্ক ও কস্টিক সোডা মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে অ্যামেনিয়া গ্যাস উৎপন্ন হয়।

প্রথমে জিঙ্ক ও কস্টিক সোডার বিক্রিয়ায় জায়মান হাইড্রোজেন (Nascent hydrogen) তৈরী হয়। পরে এই জায়মান হাইড্রোজেন নাইট্রাইট বা নাইট্রেট লবণকে অ্যামোনিয়াতে বিজারিত করে।

$$Zn+2NaOH=Zn(ONa)_2+2H$$

$$NaNO_2+6H=NaOH+H_2O+NH_3$$

$$NaNO_3+8H=NaOH+2H_2O+NH_3$$

(3) ধাতব নাইট্রাইড যৌগগুলি জল বা ক্ষারের দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$Mg_3N_2+6H_2O=3Mg(OH)_2+2NH_3$$

$$AlN+3NaOH=Na_3AlO_3+NH_3$$

(4) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও লিথার্জ (PbO)-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে অ্যামোনিয়া গ্যাস তৈরী হয়।

$$PbO+2NH_4Cl=PbCl_2+2NH_3+H_2O$$

(5) নাইট্রিক অ্যাসিডের মধ্যে জিঙ্ক ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মেশালে অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হয়।

$$Zn+H_2SO_4=ZnSO_4+2H$$

$$HNO_3+8H=NH_3+3H_2O$$

(6) নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের গ্যাস মিশ্রণকে 550°C উষ্ণতায়

উত্তপ্ত ফেরিক অক্সাইড (Fe_2O_3) অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$N_2+3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

এই বিক্রিয়া অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

ধর্ম : (a) ভৌত ধর্ম : (i) অ্যামোনিয়া ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত, স্বচ্ছ গ্যাস। (ii) অ্যামোনিয়া গ্যাস দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়। (iii) এটি বায়ুর চেয়ে অনেক হালকা। (iv) গ্যাসটি জলে অতি মাত্রায় দ্রবণীয় (0°C উষ্ণতায় 1ml জলে 1150 ml গ্যাস দ্রবীভূত হয়)। জলীয় দ্রবণটি সাধারণতঃ লিকার-অ্যামোনিয়া (Liquor ammonia) নামে পরিচিত। (v) 10°C উষ্ণতায় এবং 6 অ্যাটমসফিয়ার চাপে অ্যামোনিয়া গ্যাসকে তরলে পরিণত করা যায়।

(b) রাসায়নিক ধর্ম : (i) অ্যামোনিয়া গ্যাসকে অক্সিজেনে পোড়ালে গ্যাসটি সবুজ পীত রঙের শিখায় জ্বলতে থাকে।

$$4NH_3+3O_2=6H_2O+2N_2$$

(ii) অ্যামোনিয়া গ্যাস হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের সংস্পর্শে এলে প্রচুর ঘন সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি হয়। সাদা ধোঁয়া প্রকৃতপক্ষে অসংখ্য অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের সূক্ষ্ম কণার সমষ্টি। $NH_3+HCl=NH_4Cl$

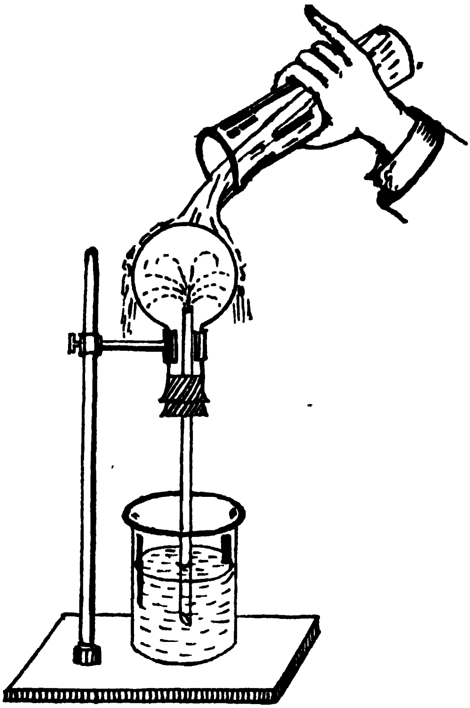
(iii) অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ আয়নিত হয়ে হাইড্রক্সাইড আয়ন উৎপন্ন করে। $NH_3+H_2O=NH_4OH=NH_4^++OH^-$

সুতরাং, অ্যামোনিয়া একটি ক্ষারকধর্মী পদার্থ। অ্যামোনিয়া বা অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ তৈরী করে এবং লাল লিটমাসকে নীল বর্ণে পরিবর্তিত করে।

$$NH_3+HCl=NH_4Cl \;;\; 2NH_4OH+H_2SO_4=(NH_4)_2SO_4+2H_2O$$

পরীক্ষা : একটি ফ্লাস্ক অ্যামোনিয়া গ্যাসে ভর্তি করা হয়। এখন কর্কের সাহায্যে তার ভিতরে একটি সরু নল প্রবেশ করানো হয়। ফ্লাস্কটিকে উপুড় করে একটি লাল লিটমাসের জলীয় দ্রবণ ভর্তি পাত্রের উপর রাখা হয়। এখন ফ্লাস্কের উপরে ঠাণ্ডা জল ঢাললে সরু নল দিয়ে ফ্লাস্কের ভিতর ধীরে ধীরে জল প্রবেশ করে এবং অ্যামোনিয়া গ্যাস দ্রুত দ্রবীভূত হয়। ফলে ফ্লাস্কের ভিতর গ্যাসের চাপ হঠাৎ কমে যায় এবং লাল লিটমাসের জলীয় দ্রবণ বেগে সরু নল দিয়ে ফ্লাস্কের ভিতর প্রবেশ করতে থাকে। এতে একটি ফোয়ারার সৃষ্টি হয় (15. 1. 2নং চিত্র)। এইজন্য অনেক সময় এই

পরীক্ষাকে বলা হয় ফোয়ারা পরীক্ষা (Fountain experiment) ।



15. 1. 2নং চিত্র

অ্যামোনিয়া গ্যাসের সংস্পর্শে এসে লাল লিটমাস দ্রবণের রঙ বদলে নীল হয়ে যায় ।

(iv) অ্যামোনিয়াতে N-এর জারণ-সংখ্যা : —III কিন্তু যুক্তাবস্থায় N-এর জারণ-সংখ্যা +I, +II, +IV, +V ইত্যাদি হতে পারে। কাজেই অ্যামোনিয়া একটি মৃদু বিজারক। অবস্থাবিশেষে এটি নাইট্রোজেন বা নাইট্রিক অক্সাইডে জারিত হয় ।

(a) উত্তপ্ত কপার অক্সাইড বা লেড অক্সাইডের উপর দিয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে অক্সাইডগুলি ধাতুতে বিজারিত হয় এবং অ্যামোনিয়া নাইট্রোজেনে জারিত হয় ।

$$2NH_3+3CuO=3Cu+N_2+3H_2O$$

(b) 1:1 অনুপাতে অ্যামোনিয়া ও হ্যালোজেন বিক্রিয়া করে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোহ্যালিক অ্যাসিড তৈরী করে।

$$2NH_3+3Cl_2=N_2+6HCl$$

এই বিক্রিয়ায় হ্যালোজেনের পরিমাণ বেশী হলে বিস্ফোরক পদার্থ নাইট্রোজেন ট্রাই-হ্যালাইড উৎপন্ন হয়।

$$6Cl_2+2NH_3=2NCl_3+6HCl$$

যদি অ্যামোনিয়ার পরিমাণ বেশী থাকে তাহলে উৎপন্ন হয় নাইট্রোজেন ও অ্যামোনিয়াম হ্যালাইড লবণ।

$$8NH_3+3Cl_2=N_2+6NH_4Cl$$

(c) 500°C উষ্ণতায় প্লাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে অক্সিজেনের দ্বারা অ্যামোনিয়া গ্যাস নাইট্রিক অক্সাইডে জারিত হয়।

$$4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$$

(v) ক্ষার ধাতুর সঙ্গে অ্যামোনিয়া ধাতব অ্যামাইড গঠন করে। অ্যামাইড জলে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হলে পুনরায় অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2NH_3+2Na=H_2+2NaNH_2 \text{ (সোডামাইড)}$$

$$NaNH_2+H_2O=NaOH+NH_3$$

(vi) অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অদ্রাব্য ধাতব হাইড্রক্সাইড বা অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$FeCl_3+3NH_4OH=Fe(OH)_3+3NH_4Cl$$

$$AlCl_3+3NH_4OH=Al(OH)_3+3NH_4Cl$$

$$2CuSO_4+2NH_4OH=CuSO_4,\ Cu(OH)_2+(NH_4)_2SO_4$$

ক্ষারকীয় কপার সালফেট

$$2AgNO_3+2NH_4OH=Ag_2O+2NH_4NO_3+H_2O$$

Cu, Ag, Zn, Ni প্রভৃতি ধাতব লবণের সঙ্গে অ্যামোনিয়া দ্রবণ প্রথমে অধঃক্ষেপ গঠন করলেও পরে তা অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে যায়।

(a) $2CuSO_4+2NH_4OH=(NH_4)_2SO_4+CuSO_4,\ Cu(OH)_2$

নীলাভ-শ্বেত অধঃক্ষেপ

$$(NH_4)_2SO_4+CuSO_4,Cu(OH)_2+6NH_4OH=2[Cu(NH_3)_4]SO_4+8H_2O$$ (গাঢ় নীল দ্রবণ)

(b) $2AgNO_3+2NH_4OH=Ag_2O+2NH_4NO_3+H_2O$

বাদামী অধঃক্ষেপ

$$Ag_2O + 4NH_4OH = 2[Ag(NH_3)_2]OH + 3H_2O$$
বর্ণহীন দ্রবণ

(vii) মারকিউরিক ক্লোরাইড অথবা মারকিউরাস ক্লোরাইড লবণের দ্রবণে অ্যামোনিয়া দ্রবণ মেশালে অ্যামিনো-মারকিউরিক ক্লোরাইডের ($HgNH_2Cl$) অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$HgCl_2 + 2NH_4OH = Hg(NH_2)Cl + NH_4Cl + 2H_2O$$
সাদা অধঃক্ষেপ

$$Hg_2Cl_2 + 2NH_4OH = [Hg(NH_2)Cl + Hg] + NH_4Cl + 2H_2O$$
কাল অধঃক্ষেপ

(viii) অ্যামোনিয়া দ্রবণের সঙ্গে নেসলার দ্রবণ বাদামী অধঃক্ষেপ দেয়।

$$NH_3 + 2K_2HgI_4 + 3KOH = IHg{-}OHgNH_2 + 7KI + 2H_2O$$
নেসলার দ্রবণ

(ix) অ্যামোনিয়ার হাইড্রোজেনকে পরোক্ষভাবে অ্যালকিল মূলকের দ্বারা প্রতিস্থাপন করা সম্ভব। যথা: (1) মিথাইল অ্যামিন, (CH_3NH_2); (2) ডাই-মিথাইল অ্যামিন, $(CH_3)_2NH$; এবং (3) ট্রাই-মিথাইল অ্যামিন, $(CH_3)_3N$। এই অ্যামিন যৌগগুলি ক্ষারকীয়।

অ্যামোনিয়া এবং অ্যামোনিয়াম লবণের সনাক্তকরণ:

(i) অ্যামোনিয়ার গন্ধ ঝাঁঝালো এবং এটি ভিজে লাল লিটমাস কাগজকে নীল করে।

(ii) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের সঙ্গে অ্যামোনিয়া অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের ঘন সাদা ধোঁয়া সৃষ্টি করে।

(iii) নেসলার দ্রবণে (K_2HgI_4-এর ক্ষারকীয় দ্রবণ) অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া বা অ্যামোনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণ মেশালে বাদামী অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$2K_2HgI_4 + NH_3 + 3KOH = IHgOHgNH_2 + 7KI + 2H_2O$$
বাদামী অধঃক্ষেপ

(iv) অ্যামোনিয়াম লবণকে কস্টিকসোডা বা কোনো ক্ষার জাতীয় লবণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হয়।

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH = 2NH_3 + 2H_2O + Na_2SO_4$$

(v) মারকিউরাস নাইট্রেট দ্রবণের দ্বারা সিক্ত কাগজ অ্যামোনিয়া গ্যাসে ধরলে কাগজের রঙ কালো হয়ে যায়।

$$Hg_2(NO_3)_2 + NH_4OH = Hg(NH_2)NO_3 + Hg + HNO_3 + H_2O$$

অ্যামোনিয়ার ব্যবহার ঃ (i) পরীক্ষাগারে বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষায় বিকারকরূপে অ্যামোনিয়া ব্যবহার করা হয়।

(ii) নাইট্রিক অ্যাসিড এবং সোডিয়াম কার্বনেটের শিল্পোৎপাদনে অ্যামোনিয়ার চাহিদা সব চেয়ে বেশী।

(iii) অ্যামোনিয়াম সালফেট, অ্যামোনিয়াম ফসফেট, ইউরিয়া প্রভৃতি কৃত্রিম সার-শিল্পে প্রচুর পরিমাণে অ্যামোনিয়া ব্যবহৃত হয়।

(iv) অ্যামোনিয়া ও অ্যামোনিয়াম লবণ ঔষধ প্রস্তুতিতে প্রয়োজন হয়। স্মেলিং সল্টে থাকে চুণের জল ও অ্যামোনিয়াম কার্বনেট।

(v) কৃত্রিম রেশম বা রেয়ন (Rayan) প্রস্তুতিতে অ্যামোনিয়া ব্যবহার করা হয়।

(vi) তরল অ্যামোনিয়া বরফ উৎপাদনে ও শীতলীকরণের কাজে প্রশীতক (Refrigerant) রূপে ব্যবহৃত হয়।

(vii) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডকে অনেক সময়ে বিদ্যুৎ-কোষে, রঞ্জন-শিল্পে এবং ঝালাই-এর কাজে ব্যবহার করা হয়।

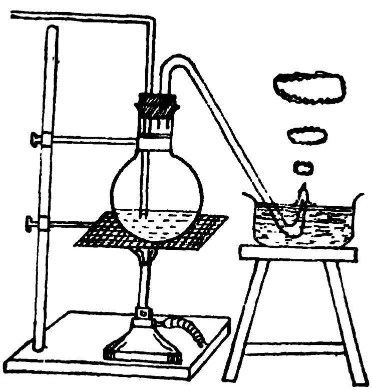
15.2 ফসফিন (Phosphine ; PH_3) ঃ ফসফিন ফসফরাসের একটি হাইড্রাইড। 1780 খ্রীষ্টাব্দে গ্যেনগ্যেমবার (Gengember) শ্বেত-ফসফরাস ও ক্ষারের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে সর্বপ্রথম ফসফিন গ্যাস প্রস্তুত করেন। প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় গ্যাসটি পাওয়া যায় না। তবে মাটিতে এবং প্রোটিনে অনেক ফসফেট লবণ থাকে যেগুলি থেকে এই গ্যাসটি পাওয়া সম্ভবপর।

প্রস্তুত-প্রণালীসমূহ ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ শ্বেত ফসফরাসের সঙ্গে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড মিশিয়ে উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে ফসফিন গ্যাস তৈরী করা হয়।

$$P+3P+3NaOH+3H_2O=PH_3+3NaH_2PO_2$$

আগম-নল ও নির্গম-নল যুক্ত একটি ফ্লাস্কে কয়েক টুকরো শ্বেত ফসফরাস ও গাঢ় কস্টিক সোডার দ্রবণ (30—40%) নিয়ে একটি ত্রিপদ ধারকে বসানো হল। আগম-নল দিয়ে কোল গ্যাস চালনা করে ফ্লাস্কের ভিতরকার বায়ুকে বের করে দেওয়া হয়। ফলে বিক্রিয়া চলাকালীন কোনোরূপ বিস্ফোরণ ঘটার সম্ভাবনা থাকে না। নির্গম-নলের খোলা মুখটি একটি পাত্রে রাখা জলে নিমজ্জিত থাকে (15.2.1 নং চিত্র)। ফ্লাস্কটিতে ধীরে ধীরে তাপ দিলেই শ্বেত ফসফরাসের সঙ্গে কস্টিকসোডার বিক্রিয়ায় ফসফিন গ্যাস

উৎপন্ন হয়। ছোট ছোট বুদবুদ আকারে এই গ্যাস নির্গম-নল দিয়ে উপরে উঠে আসে। বায়ুর সংস্পর্শে এলেই গ্যাস উজ্জ্বল আভায় জ্বলে ওঠে এবং সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি করে, যা কুণ্ডলাকারে ক্রমশঃ উপরে উঠতে থাকে। এই কুণ্ডলাকৃতির সাদা ধোঁয়াকে বলা হয় "ফসফিনের আবর্ত-বলয়" (Vortex ring of Phosphine)। প্রকৃতপক্ষে সাদা ধোঁয়াটি হল অসংখ্য ফসফরাস পেণ্টক্সাইড-কণার সমষ্টি। ফসফিনের সঙ্গে বায়ুর অক্সিজেন মিলে ফসফরাস পেণ্টক্সাইড উৎপন্ন হয়।



15. 2. 1নং চিত্র

$$2PH_3+4O_2=P_2O_5+3H_2O$$

বিশুদ্ধিকরণ: উৎপন্ন ফসফিন গ্যাসে সর্বদাই অল্প পরিমাণে ফসফরাস ডাই-হাইড্রাইড (P_2H_4) গ্যাস ও হাইড্রোজেন মিশ্রিত থাকে।

$$6P+4NaOH+4H_2O=4NaH_2PO_2+P_2H_4$$

$$2P+2NaOH+2H_2O=2NaH_2PO_2+H_2$$

বস্তুত ফসফিন নিজে জ্বলে না। কিন্তু P_2H_4 দাহ্য। তাই P_2H_4 মিশ্রিত ফসফিন গ্যাস যখন বায়ুর সংস্পর্শে আসে তখন সেটি জ্বলে ওঠে। P_2H_4 ও H_2 গ্যাস মিশ্রিত ফসফিনকে হিম মিশ্রনে (Freezing mixture-এ) রাখা U-নলের ভিতর দিয়ে পাঠানো হয়। এখানে P_2H_4 গ্যাস ঘনীভূত হয়ে তরলে পরিণত হয়। তখন H_2 গ্যাসকে দূরীভূত করার জন্য অবশিষ্ট গ্যাস-মিশ্রণকে হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডে (HI-এ) দ্রবীভূত করা হয়। উৎপন্ন PH_4I-কে কস্টিক পটাসের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে উৎপন্ন হয় বিশুদ্ধ ফসফিন গ্যাস।

$$PH_3+HI=PH_4I$$

$$PH_4I+KOH=KI+H_2O+PH_3$$

বিশুদ্ধ ফসফিন গ্যাসকে তখন জল-অপসারণ পদ্ধতিতে গ্যাস জারে সংগ্রহ করা হয়। এই গ্যাস দাহ্য নয়।

(2) ফসফনিয়াম আয়োডাইড (PH_4I), কাঁচের গুঁড়ো ও কস্টিক

পটাস দ্রবণ (34%)-কে একত্রে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ ফসফিন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$PH_4I + KOH = KI + H_2O + PH_3$$

[CS_2 দ্রবণে শ্বেত ফসফরাস ও আয়োডিন নিয়ে তার মধ্যে ধীরে ধীরে জল ঢালা হয়। এই মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে PH_4I উৎপন্ন হয়। $9P + 5I + 16H_2O = 5PH_4I + 4H_3PO_4$]।

(3) ধাতব ফসফাইড লবণগুলি জল বা অ্যাসিডের দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় এবং ফসফিন গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3$$

Ca_3P_2 থেকে উৎপন্ন PH_3 গ্যাসে প্রচুর পরিমাণে দাহ্য P_2H_4 মিশ্রিত থাকে।

$$2AlP + 3H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 2PH_3 \text{ (বিশুদ্ধ)}$$

[অ্যালুমিনিয়ামের গুঁড়ো ও লোহিত ফসফরাস একসঙ্গে উত্তপ্ত করলে AlP উৎপন্ন হয়]

(4) ফসফরাস অ্যাসিডকে তাপ দিলে তা জারিত হয় এবং ফসফিন গ্যাস ও ফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$4H_3\overset{+III}{P}O_3 = 3H_3\overset{+V}{P}O_4 + PH_3 \quad (200°C)$$

(5) ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইড গরম জলের সংস্পর্শে এলে সামান্য বিস্ফোরণ ঘটে এবং ফসফিন গ্যাস নির্গত হয়।

$$2P_2O_3 + 6H_2O = PH_3 + 3H_3PO_4$$

(a) **ভৌত ধর্ম ঃ** (i) ফসফিন বিষাক্ত স্বচ্ছ গ্যাস। এতে পচা মাছের মত একটা দুর্গন্ধ আছে। (ii) ফসফিন বায়ুর চেয়ে ভারী গ্যাস (ঘনত্ব 1·5307 g/l) (iii) ফসফিন গ্যাস দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়। (iv) জল, অ্যালকোহল বা ইথারে এই গ্যাসের দ্রাব্যতা খুবই কম।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** (i) 440°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বা বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ দ্বারা, ফসফিন বিয়োজিত হয় এবং হাইড্রোজেন গ্যাস ও লোহিত ফসফরাস উৎপন্ন করে। $2PH_3 = 3H_2 + 2P$

(ii) বায়ুতে 150°C উষ্ণতায় ফসফিন গ্যাস উত্তপ্ত করলে বিস্ফোরণ ঘটে এবং গ্যাসটি জ্বলতে থাকে। এই বিক্রিয়ায় পেন্টক্সাইড উৎপন্ন হয়।

ক্লোরিন গ্যাসের সঙ্গে এই গ্যাস মেশালে গ্যাসটি জ্বলে ওঠে এবং ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইড (PCl_3) উৎপন্ন হয়।

$$2PH_3+4O_2=P_2O_5+3H_2O$$
$$PH_3+3Cl_2=PCl_3+3HCl$$

(iii) **ক্ষারকীয় ধর্ম :** ফসফিন গ্যাস মৃদু ক্ষারকধর্মী, যদিও এটির জলীয় দ্রবণ লাল লিটমাস দ্রবণকে নীল করতে পারে না। অ্যামোনিয়ার মত ফসফিন গ্যাসও বিভিন্ন হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে ফসফোনিয়াম হ্যালাইড তৈরী করে।

$PH_3+HI=PH_4I$; $PH_3+HCl=PH_4Cl$; $PH_3+HBr=PH_4Br$

এই লবণগুলির জলীয় দ্রবণ ফসফিন ও হ্যালোজেন অ্যাসিডে বিয়োজিত হয় এবং কষ্টিক সোডার সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফসফিন গ্যাস উৎপন্ন করে।

$PH_4I=PH_3+HI$; $PH_4I+KOH=PH_3+KI+H_2O$

(iv) **বিজারণ ক্রিয়া :** ফসফিন একটি তীব্র বিজারক পদার্থ। যুক্ত অবস্থায় ফসফরাসের জারণ-সংখ্যা —III, +III, +V হতে পারে। PH_3-এ ফসফরাসের জারণ সংখ্যা —III। সুতরাং অতি সহজেই এটি জারিত হতে পারে।

(a) কপার, মারকারি প্রভৃতির ধাতব লবণের আম্লিক দ্রবণে ফসফিন গ্যাস পাঠালে ধাতব লবণগুলি বিজারিত হয় এবং ধাতব ফসফাইডে পরিণত হয়।

$$3CuSO_4+2PH_3=Cu_3P_2+3H_2SO_4$$
$$3HgCl_2+2PH_3=Hg_3P_2+6HCl$$

(b) সিলভার, গোল্ড প্রভৃতি লবণের দ্রবণে ফসফিন গ্যাস পাঠালে দ্রবণ থেকে ধাতু অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$6AgNO_3+PH_3=Ag_3P, 3AgNO_3+3HNO_3$ (হলুদ অধঃক্ষেপ)

$Ag_3P, 3AgNO_3+3H_2O=6Ag+3HNO_3+H_3PO_3$ (কালো অধঃক্ষেপ)

$$2AuCl_3+PH_3+3H_2O=2Au+6HCl+H_3PO_3$$

ফসফিন এবং ফসফোনিয়াম লবণের সনাক্তকরণ : (1) ফসফিন গ্যাস থেকে সব সময়ে পচা মাছের মত একটা দুর্গন্ধ নির্গত হয়।

(2) কপার সালফেটের আম্লিক দ্রবণে ফসফিন গ্যাস বা ফসফোনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণ মেশালে কিউপ্রিক ফসফাইডের (Cu_3P_2) কালো অধঃক্ষেপ পড়ে। $3CuSO_4+2PH_3=Cu_3P_2+3H_2SO_4$

(3) ফসফিন বা ফসফোনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে প্রথমে হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। পরে তা কালো বর্ণে পরিণত হয়।

ফসফিনের ব্যবহার: (1) P_2H_4 মিশ্রিত ফসফিনের স্বতঃস্ফূর্ত দহনকে 'হলমের সিগন্যালে'র (Holme's Signals) কাজে লাগানো হয়। বিপদগ্রস্থ কোনো জাহাজ থেকে সংকেত দেবার জন্য বা অন্য কোনো প্রয়োজনে সংকেত দেবার জন্য হলমের সংকেত ব্যবহৃত হয়। ক্যালসিয়াম ফসফাইড ও কার্বাইডের মিশ্রণকে একটি ছিদ্রযুক্ত পাত্রে রেখে পাত্রটিকে সমুদ্রে ছুড়ে দেওয়া হয়। উৎপন্ন ফসফিন জ্বলে উঠে সংকেতের কাজ করে।

(2) ফসফিন গ্যাস ধূম্রজাল (Smoke Screen) তৈরীতে ব্যবহৃত হয়।

অ্যামোনিয়ার সঙ্গে ফসফিনের তুলনা: নাইট্রোজেন ও ফসফরাস পর্যায়-সারণীতে একই গ্রুপে (Group VB) অবস্থিত। তাই তাদের হাইড্রাইডের (NH_3 ও PH_3-এর) ধর্মের মধ্যে যথেষ্ট সাদৃশ্য লক্ষণীয়। নিম্নে তাদের ধর্মের তুলনামূলক আলোচনার ছক দেওয়া হল।

ফসফিন	অ্যামোনিয়া
(i) সাধারণ উষ্ণতায় এটি বর্ণহীন, পচা মাছের গন্ধযুক্ত, বায়ুর চেয়ে ভারী বিষাক্ত গ্যাস।	(i) সাধারণ উষ্ণতায় এটি বর্ণহীন, ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত, বায়ুর চেয়ে হালকা গ্যাস। এটি বিষাক্ত নয়।
(ii) জলে দ্রাব্যতা খুব কম। জলীয় দ্রবণ লিটমাসের সঙ্গে বিক্রিয়াহীন।	(ii) জলে অতিমাত্রায় দ্রাব্য। জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী এবং লাল লিটমাসকে নীল করে।
(iii) দাহ্য নয় এবং দহনে সহায়তা করে না। কিন্তু বায়ু বা অক্সিজেনে গ্যাসটিকে পোড়ালে তা জ্বলতে থাকে। $2PH_3+4O_2=P_2O_5+3H_2O$	(iii) দাহ্য নয় এবং দহনে সহায়তা করে না। অতিরিক্ত বায়ু বা অক্সিজেনে পোড়ালে গ্যাসটি জ্বলতে থাকে। $4NH_3+3O_2=2N_2+6H_2O$
(iv) ক্লোরিন গ্যাসের সংস্পর্শে গ্যাসটি জ্বলে ওঠে এবং PCl_3 ও HCl গঠন করে। $PH_3+3Cl_2=PCl_3+3HCl$	(iv) অতিরিক্ত ক্লোরিন সহযোগে এটি NCl_3 ও HCl গঠন করে। $NH_3+3Cl_2=NCl_3+3HCl$

ফসফিন

(v) তীব্র বিজারক দ্রব্য। সাধারণ উষ্ণতায় কপার, সিলভার, গোল্ড প্রভৃতির লবণের দ্রবণ থেকে এটি ধাতুকে অধঃক্ষিপ্ত করে।

$$\overset{+III}{2AuCl_3}+\overset{-III}{PH_3}+3H_2O=\overset{0}{2Au}+6HCl+\overset{+III}{H_3PO_3}$$

(vi) কপার, সিলভার মারকারি প্রভৃতি ধাতুর লবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব ফসফাইড গঠন করে।

$$3CuSO_4+2PH_3=Cu_3P_2+3H_2SO_4$$

(vii) 440°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বা গ্যাসের মধ্যে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ পাঠালে গ্যাসটি ফসফরাস ও হাইড্রোজেনে বিয়োজিত হয়।

অ্যামোনিয়া

(v) উচ্চ তাপমাত্রায় এটি বিজারক হিসাবে কাজ করে। উত্তপ্ত CuO ও PbO-কে যথাক্রমে Cu ও Pb-এ বিজারিত করে।

$$\overset{+II}{3CuO}+\overset{-III}{2NH_3}=\overset{0}{3Cu}+\overset{0}{N_2}+3H_2O$$

(vi) Al, Fe প্রভৃতি ধাতুর লবণের দ্রবণে অ্যামোনিয়া দ্রবণ মেশালে ধাতব হাইড্রক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$FeCl_3+3NH_4OH=Fe(OH)_3+3NH_4Cl$$

(vii) খুব বেশী উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বা গ্যাসের মধ্যে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ পাঠালে গ্যাসটি নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনে বিয়োজিত হয়।

15.3 হাইড্রোজেন সালফাইড (Hydrogen Sulphide; H_2S) ঃ এটি সালফার ও হাইড্রোজেনের দ্বি-মৌলিক গ্যাসীয় যৌগ। বিজ্ঞানী শিলী (Scheele, 1777) সর্বপ্রথম এই গ্যাসটি নিয়ে পরীক্ষা নিরীক্ষা করেন। ঝরনার জলে, আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্ভূত গ্যাসে এবং বায়ুতে এই গ্যাস দেখা যায়। পচা মাছ, ডিম, চামড়া, মল প্রভৃতি থেকে যে দুর্গন্ধ বের হয় তা প্রধানত এই গ্যাসটির জন্যই।

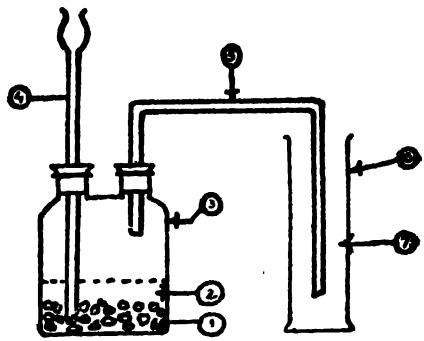
প্রস্তুত-প্রণালীসমূহ ঃ (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি ঃ ধাতব সালফাইডের উপর শীতল ও মাঝারি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড ঢাললে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$FeS+2HCl=FeCl_2+H_2S\ ;\ PbS+H_2SO_4=PbSO_4+H_2S$$

সাধারণতঃ ফেরাস সালফাইড ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস তৈরী করা হয়।

$$FeS+H_2SO_4=FeSO_4+H_2S$$

দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গম-নলযুক্ত একটি উলফ্ বোতলে ফেরাস সালফাইডের কয়েকটি টুকরা নেওয়া হয়। এখন দীর্ঘ-নল ফানেল দিয়ে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড এমন ভাবে ঢালা হয় যেন ফানেলের নীচের প্রান্তটি অ্যাসিডে ডুবে থাকে (15.3.1 নং চিত্র)। ফেরাস সালফাইডের সঙ্গে সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়ে নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। এই গ্যাসকে প্রথমে জল ও পরে বিগলিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত করা হয় এবং বায়ুর উর্দ্ধঅপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।



1. ফেরাস সালফাইড 2. অ্যাসিড 3. উলফ বোতল 4. দীর্ঘনল ফানেল 5. নির্গম-নল 6. গ্যাস-স্রাব 7. H_2S গ্যাস
15. 3. 1নং চিত্র

বিশুদ্ধিকরণঃ পরীক্ষাগারে যে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস প্রস্তুত করা হয় তা বিশুদ্ধ নয়। সব সময়ই এটির সঙ্গে অল্প পরিমাণে হাইড্রোজেন গ্যাস মিশে থাকে। এই হাইড্রোজেন গ্যাস ফেরাস সালফাইডে উপস্থিত আয়রনের সঙ্গে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়।

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2$$

এই গ্যাসকে বিশুদ্ধি করণের জন্য কয়েকটি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়।

(a) উৎপন্ন গ্যাসকে প্রথমে MgO-এর জলীয় দ্রবণে চালনা করা হয়। ম্যাগনেসিয়াম হাইড্রোসালফাইড, $Mg(HS)_2$ উৎপন্ন হয়।

$$MgO + 2H_2S \rightleftharpoons Mg(HS)_2 + H_2O$$

এই হাইড্রোসালফাইডকে 60°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস বের হয়।

(b) অনার্দ্র অ্যালুমিনার (Al_2O_3) সাহায্যে এই গ্যাসকে বিশুদ্ধ করা যেতে পারে।

(c) এই গ্যাসকে তরলীভূত করে, পরে 61°C উষ্ণতায় পাতিত করলে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস পাওয়া যায়।

বিশেষ দ্রষ্টব্যঃ (i) HCl বা H_2SO_4-এর পরিবর্তে HNO_3 ব্যবহার

করে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস প্রস্তুত করা যায় না, কারণ সেক্ষেত্রে উৎপন্ন হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে।

$$H_2S+2HNO_3=S+2NO_2+2H_2O$$

(ii) হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাসকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা শুষ্ক করা যায় না, কারণ সেক্ষেত্রে গ্যাসটি সালফারে জারিত হয়।

$$H_2S+H_2SO_4=SO_2+S+2H_2O$$

(iii) এই গ্যাসকে পারদের উপর সংগ্রহ করা যায় না, কারণ গ্যাসটি পারদের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কালো রঙের মারকিউরিক সালফাইড (HgS) উৎপন্ন করে। এই গ্যাসকে অবশ্য গরমজলের উপর সংগ্রহ করা সম্ভবপর।

$$H_2S+Hg=HgS+H_2$$

(2) ক্যালসিয়াম সালফাইড বা অ্যান্টিমনি সালফাইডকে গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$Sb_2S_3+6HCl=2SbCl_3+3H_2S$$

$$CaS+2HCl=CaCl_2+H_2S$$

(3) অ্যালুমিনিয়াম সালফাইডে জল মেশালে তা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয় এবং হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস বের হয়।

$$Al_2S_3+6H_2O=2Al(OH)_3+3H_2S$$

(4) **কিপ্ যন্ত্রে হাইড্রোজেন সালফাইডের প্রস্তুতি ঃ** প্রয়োজনে গ্যাসটি ব্যবহার করার জন্য পরীক্ষাগারে কিপ্‌যন্ত্রে (Kipps-apparatus) এই গ্যাস প্রস্তুত করা হয়। (কিপ্-যন্ত্রের বর্ণনার জন্য দশম অধ্যায়ে 10.2 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) মাঝের গোলকে FeS-এর স্টিক নেওয়া হয়। এখন স্টপ্ কক (Stop-cock) খুলে রেখে দীর্ঘনল ফানেলের সাহায্যে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড ঢালা হয়। এই অ্যাসিড FeS-এর সংস্পর্শে এলেই H_2S গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাস স্টপ্-কক পথে নির্গত হয়। যখন গ্যাসের প্রয়োজন থাকে না তখন স্টপ-কক বন্ধ করে দেওয়া হয়। মাঝের গোলকে উৎপন্ন গ্যাস অ্যাসিডের উপর চাপ দেয়। ফলে অ্যাসিড নীচে নেমে যায় এবং তখন আর FeS-এর সঙ্গে অ্যাসিডের সংযোগ না থাকায় গ্যাস উৎপাদন বন্ধ হয়ে যায়।

$$FeS+H_2SO_4=FeSO_4+H_2S$$

ধর্ম ঃ (a) ভৌত ধর্ম ঃ (i) হাইড্রোজেন সালফাইড পচা ডিমের

গন্ধযুক্ত একটি স্বচ্ছ বিষাক্ত গ্যাস। বেশীক্ষণ ধরে গ্যাসটিকে প্রশ্বাস বায়ুর সঙ্গে গ্রহণ করলে মৃত্যু হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে ভারী এবং জলে দ্রবণীয়। (iii) এই গ্যাস দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়। কিন্তু অতিরিক্ত অক্সিজেনে নীল শিখায় জ্বলে এবং সালফার ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$2H_2S+3O_2=2SO_2+2H_2O$$

(b) রাসায়নিক ধর্ম : (i) হাইড্রোজেন সালফাইড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন দেয়।

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^- \ ; \ HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{--}$$

সুতরাং গ্যাসটির জলীয় দ্রবণ দ্বি-ক্ষারকীয় মৃদু অ্যাসিডধর্মী। এটি ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিড-লবণ ও প্রশম-লবণ গঠন করে।

$$NaOH+H_2S=NaHS+H_2O \ ; \ NaHS+NaOH=Na_2S+H_2O$$

এই লবণগুলি জলে দ্রবীভূত হয় এবং হাইড্রক্সাইড আয়ন উৎপন্ন করে। তাই এদের জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী।

$$HS^- + H_2O \rightleftharpoons H_2S + OH^- \ ; \ S^{--} + H_2O \rightleftharpoons HS^- + OH^-$$

হাইড্রোজেন সালফাইডের জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে।

(ii) **ধাতুর উপর ক্রিয়া :** সোনা ও প্লাটিনাম বাদে অধিকাংশ ধাতুগুলি এই গ্যাসের দ্বারা আক্রান্ত হয় এবং ধাতব সালফাইডে পরিণত হয়। এজন্য পরীক্ষাগারে অ্যামোনিয়া গ্যাসের সংস্পর্শে এসে রুপা বা নিকেলের ঘড়ি সহজেই কালো হয়ে যায়।

$$2Ag+H_2S=Ag_2S+H_2 \ ; \ Pb+H_2S=PbS+H_2$$

(iii) **বিজারণ ক্রিয়া :** বিভিন্ন যৌগের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় সালফারের জারণ-সংখ্যা, —II, +IV, +VI হয়। আবার মৌলহিসেবে সালফারের জারণ-সংখ্যা, 0। হাইড্রোজেন সালফাইডে সালফারের জারণ-সংখ্যা—II বলে এটি সহজেই জারিত হতে পারে। অর্থাৎ গ্যাসটি একটি তীব্র বিজারক। বিজারক ক্রিয়ায় গ্যাসটি জারিত হয়ে সালফারে পরিবর্তিত হয়।

(a) হ্যালোজেন, ফেরিক লবণ, হাইড্রোজেন পারক্সাইড, সালফার ডাই-অক্সাইড, সালফিউরিক অ্যাসিড, নাইট্রিক অ্যাসিড প্রভৃতি হাইড্রোজেন সালফাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিজারিত হয় এবং দ্রবণে সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$X_2+H_2S=2HX+S\ (X=Cl, Br, I)$$

$$2FeCl_3+H_2S=2FeCl_2+S+2HCl$$

$$H_2O_2+H_2S=2H_2O+S\ ;\ SO_2+2H_2S=S+2H_2O+2S$$

$$H_2SO_4+H_2S=SO_2+2H_2O+S$$

$$2HNO_3+3H_2S=2NO+4H_2O+3S$$

(b) বেগুনী বর্ণের অম্লীকৃত পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট বিজারিত হয় এবং দ্রবণটি বর্ণহীন হয়।

$$2KMnO_4+5H_2S+3H_2SO_4=K_2SO_4+2MnSO_4+5S+8H_2O$$

(c) কমলাবর্ণের অম্লীকৃত পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস পাঠালে পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট বিজারিত হয় এবং দ্রবণটির বর্ণ সবুজ হয়।

$$K_2Cr_2O_7+3H_2S+4H_2SO_4=K_2SO_4+Cr_2(SO_4)_3+3S+7H_2O$$

(iv) **ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ** ধাতব লবণগুলির অম্লীকৃত, ক্ষারকীয় ও জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস পাঠালে ধাতব সালফাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই ধাতব সালফাইডগুলির বিশেষ বর্ণ ও ধর্ম থাকে। তাই এগুলি ধাতব মূলকের সনাক্তকরণে সহায়তা করে।

(a) কপার, মারকারি, লেড, আর্সেনিক, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, টিন, ক্যাডমিয়াম ইত্যাদি ধাতুর সালফাইডগুলি অম্লীকৃত দ্রবণে H_2S কর্তৃক অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$MCl_2+H_2S=2HCl+MS$ (কালো) [$M=Cu^{++}, Hg^{++}Pb^{++}$]

$2AsCl_3+3H_2S=6HCl+As_2S_3$ (হলুদ)

$2\ SbCl_3+3H_2S=6HCl+Sb_2S_3$ (কমলা);

$SnCl_2+H_2S=2HCl+SnS$ (বাদামী) ,

$CdCl_2+H_2S=CdS+2HCl$ (হলুদ) ;

$2BiCl_3+3H_2S=6HCl+Bi_2S_3$ (কালো)

(b) অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড মিশ্রিত দ্রবণে আয়রন, নিকেল, কোবাল্ট, জিঙ্ক ম্যাঙ্গানিজ প্রভৃতি ধাতুর সালফাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে। এই অধঃ ক্ষেপগুলি জলে অদ্রাব্য, কিন্তু অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়।

$$2NH_4OH+H_2S=(NH_4)_2S+2H_2O\ ;$$

$$MCl_2+(NH_4)_2S=MS+2NH_4Cl.$$

[যখন $M=Zn^{++}$, Ni^{++}, Co^{++}, Mn^{++}, Fe^{++}]। এদের মধ্যে NiS, CoS কালো, ZnS সাদা এবং MnS আরক্তবর্ণ।

(c) সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, অ্যামোনিয়াম সালফাইড জলে দ্রবনীয়।

হাইড্রোজেন সালফাইড এবং সালফাইড মূলকের সনাক্ত-করণ : (i) হাইড্রোজেন সালফাইড পচা ডিমের গন্ধযুক্ত একটি স্বচ্ছ গ্যাস।

(ii) সালফাইড লবণকে জিঙ্ক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড সহযোগে উত্তপ্ত করলে পচা ডিমের গন্ধযুক্ত স্বচ্ছ গ্যাস বের হয়। এই গ্যাস লেড অ্যাসিটেট দ্রবণ দ্বারা সিক্ত কাগজকে কালো করে।

$$FeS+2HCl=H_2S+FeCl_2$$

$$(CH_3COO)_2Pb+H_2S=2CH_3COOH+PbS \text{ (কালো)}$$

(iii) ক্ষারের উপস্থিতিতে সালফাইড দ্রবণে সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড দ্রবণ মেশালে দ্রবণটির বর্ণ গাঢ় বেগুনী হয়।

$$Na_2S+Na_2[Fe(NO)(CN)_5]=Na_4[Fe(NOS)(CN)_5]$$

(iv) সালফাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে সিলভার সালফাইডের কালো অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$Na_2S+2AgNO_3=2NaNO_3+Ag_2S$$

হাইড্রোজেন সালফাইডের ব্যবহার : (i) পরীক্ষাগারে এই গ্যাস প্রধানতঃ রাসায়নিক বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ধাতব সালফাইডের ও হাইড্রোজেন সালফাইডের বিক্রিয়ার প্রকৃতি অনুযায়ী ধাতুগুলিকে বিভিন্ন শ্রেণীতে (Group) বিভক্ত করা সম্ভব হয়।

(ii) অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় গ্যাসটি বিজারক দ্রব্যরূপে কাজ করে।

(iii) হাইড্রোজেন সালফাইড থেকে ধাতব সালফাইড প্রস্তুত করা হয়।

15.4 হাইড্রোজেন ক্লোরাইড (Hydrogen Chloride; HCl) : হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের যৌগকে বলা হয় হাইড্রোজেন ক্লোরাইড। প্রিষ্টলি (1727) সর্বপ্রথম হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরী করেন। আগ্নেয়-গিরির গ্যাসে, আগ্নেয়গিরির নিকটস্থ নদীতে, প্রাণীর পাকাশয়ের (Stomach) জলীয় অংশে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড পাওয়া যায়। এটির ধাতব লবণ (NaCl) সমুদ্রের জলে প্রচুর পরিমাণে থাকে।

প্রস্তুত-প্রণালীসমূহ (Methods of Preparation) : (1) পরীক্ষাগারের পদ্ধতি : সাধারণতঃ খাদ্য লবণের উপর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও তাপের বিক্রিয়ায় পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস প্রস্তুত করা হয়।

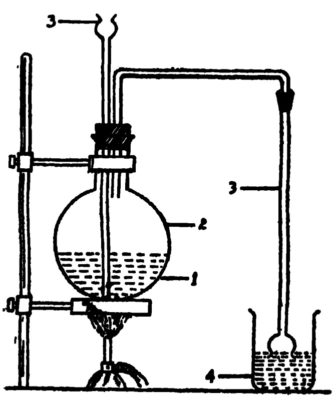
$$2NaCl+H_2SO_4=Na_2SO_4+2HCl$$

উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি সাধারণতঃ দুইটি ধাপে সম্পন্ন হয়। প্রথম ধাপে 150—200°C উষ্ণতায় হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস ও সোডিয়াম বাই-সালফেট লবণ তৈরী হয়। দ্বিতীয় ধাপে উৎপন্ন বাই-সালফেট লবণ পুনরায় খাদ্য লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং আরও হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। কিন্তু পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের প্রস্তুতিতে দ্বিতীয় ধাপটি কার্যে পরিণত করা হয়ে থাকে।

$$NaCl+H_2SO_4=NaHSO_4+HCl \qquad (150-200°C)$$

$$NaHSO_4+NaCl=Na_2SO_4+HCl \qquad (500°C)$$

দীর্ঘ-নল ফানেল ও নির্গমনলযুক্ত একটি ফ্লাস্কে খানিকটা শুষ্ক খাদ্য লবণ নেওয়া হয়। দীর্ঘনল ফানেলের মধ্য দিয়ে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড এমন ভাবে ঢালা হয় যাতে খাদ্য লবণ সম্পূর্ণরূপে এবং দীর্ঘনল ফানেলের নিম্নাংশ অ্যাসিডে ডুবে থাকে (15·4·1 নং চিত্র)। ফলে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস নির্গত হয়। কিছুক্ষণবাদে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করলে আরও গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাসকে ঘন সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত করে অনার্দ্র করা হয় এবং পারদের উপর বা বায়ুর ঊর্দ্ধ অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।



1. লবণ ও অ্যাসিডের মিশ্রণ, 2. ফ্লাস্ক, 3. দীর্ঘনল ফানেল, 4. বীকার
15. 4. 1নং চিত্র

এই হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করলে পাওয়া যায় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ।

$$HCl+H_2O=(HCl+H_2O)$$

গ্যাসটি জলে অত্যন্ত দ্রবণীয়। 0°C-এ ও প্রমাণ চাপে 1 ml

জলে প্রায় 525 ml গ্যাস দ্রবীভূত হয়। এজন্য সরাসরি এই গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করা হয় না। কারণ, যে গতিতে গ্যাস উৎপন্ন হয় তার চেয়ে দ্রুতগতিতে জলে দ্রবীভূত হয়। ফলে নির্গমনল দিয়ে জল উপরে উঠে উত্তপ্ত কুপীর ভিতর প্রবেশ করে। এতে ফ্লাস্কটি ফেটে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। তাই হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করার জন্য বিশেষ সতর্কতা অবলম্বন করা হয়।

ফ্লাস্কের নির্গম-নলটিকে একটি দীর্ঘ-নল ফানেলের সঙ্গে রবার নলের সাহায্যে যুক্ত করা হয় (চিত্রের মত)। এখন দীর্ঘ-নল ফানেলের মুখটিকে বীকারে রাখা পাতিত জলের ঠিক উপরিতলের (Surface) নীচে ডুবিয়ে রাখা হয়। নির্গত হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয় এবং বীকারে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ সঞ্চিত হয়।

(2) বোরন, অ্যালুমিনিয়াম (অনার্দ্র), টিন (ষ্ট্যানিক), ফসফরাস, আর্সেনিক প্রভৃতি ধাতুর ক্লোরাইড লবণে জল যোগ করলে লবণগুলি আর্দ্রবিশ্লেষিত হয় এবং হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$AsCl_3+2H_2O=As(OH)_2Cl+2HCl$$
$$BCl_3+3H_2O=H_3BO_3+3HCl$$
$$SnCl_4+4H_2O=Sn(OH)_4+4HCl$$

(3) সিলিকন টেট্রাক্লোরাইডের সঙ্গে জলের ক্রিয়ায় বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন-ক্লোরাইড তৈরী হয়। $SiCl_4+4H_2O=Si(OH)_4+4HCl$

(4) সমায়তনের হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন গ্যাস মিশিয়ে সূর্যালোকে রাখলে, উত্তপ্ত করলে বা তার মধ্যে বিদ্যুৎ পরিচালিত করলে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। $H_2+Cl_2=2HCl$

ধর্ম : (a) **ভৌত ধর্ম :** (i) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড একটি বর্ণহীন, শ্বাসরোধক ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত গ্যাস; (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে ভারী; (iii) জলে অতিমাত্রায় দ্রবণীয় (0°C উষ্ণতায় ও প্রমান চাপে 1 ml জলে 525 ml গ্যাস দ্রবীভূত হয়); (iv) গ্যাসটি আর্দ্র বায়ুতে ধূমায়িত হতে থাকে; (v) এই গ্যাস দাহ্য নয় এবং দহনে সহায়তা করে না, এবং (vi) উপযুক্ত চাপে ঠাণ্ডা করলে গ্যাসটি প্রথমে তরলে এবং পরে আরও ঠাণ্ডা করলে কেলাসে পরিণত হয়। তরল অবস্থায় এটি বর্ণহীন এবং এর স্ফুটনাঙ্ক 85°C।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম :** (i) **অম্লধর্ম :** হাইড্রোজেন ক্লোরাইড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন উৎপন্ন করে।

$$HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$$

সুতরাং হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ একটি তীব্র এক-ক্ষারকীয় অ্যাসিড। এটি নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল বর্ণে পরিণত করে।

কার্বনেট জাতীয় লবণের সঙ্গে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ বিক্রিয়া করে এবং কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$Na_2CO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2O + CO_2$$

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ ক্ষারকীয় পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ ও জল গঠন করে।

$$NaOH + HCl = NaCl + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O \; ; \; CuO + 2HCl = CuCl_2 + H_2O$$

আদ্র' অ্যামোনিয়া গ্যাসের সঙ্গে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস সরাসরি যুক্ত হলে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের ঘন সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি হয়।

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl$$

(ii) খুববেশী তাপ দিলে HCl-অণু হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনে বিয়োজিত হয়। $2HCl = H_2 + Cl_2$

(iii) শুষ্ক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস বা তরল হাইড্রোজেন ক্লোরাইড নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে না। এরা বিদ্যুৎ-বিশ্লেষ্যও নয়।

(iv) **ধাতুর উপর ক্রিয়া :** লোহা, তামা, দস্তার উপর গ্যাসীয় বা তরল হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের কোনরূপ ক্রিয়া দেখা যায় না। কিন্তু অ্যালুমিনিয়াম তরল হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে দ্রবীভূত হয় এবং অনার্দ্র অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড ও হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে। জ্বলন্ত সোডিয়ামের টুকরো হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসপূর্ণ পাত্রে ঢুকিয়ে দিলে তা উজ্জ্বল হলুদ বর্ণের শিখায় জ্বলতে থাকে।

$$6HCl + 2Al = 2AlCl_3 + 3H_2 \; ; \; 2Na + 2HCl = 2NaCl + H_2$$

অ্যালুমিনিয়াম, লোহা, টিন, দস্তা, ম্যাগনেসিয়াম ইত্যাদি ধাতুগুলি হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়ে হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$Sn + 2HCl = SnCl_2 + H_2 \; ; \; Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2$$

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2$$

সোনা, প্লাটিনাম প্রভৃতি বর ধাতুগুলি হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্বারা আক্রান্ত হয় না। কিন্তু উত্তপ্ত গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে কপার দ্রবীভূত হয় এবং হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। বায়ুর উপস্থিতিতে এই অ্যাসিড কপার ও সিলভারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে কিন্তু এক্ষেত্রে কোনো হাইড্রোজেন গ্যাস উদ্ভূত হয় না।

$$2Cu+8HCl=H_2+2H_3CuCl_4 ;\ 4Ag+4HCl+O_2=4AgCl+2H_2O$$

(v) ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড, লেড ডাই-অক্সাইড, পটাসিয়াম পার-ম্যাঙ্গানেট প্রভৃতি জারক পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অতি সহজেই ক্লোরিনে জারিত হয় ফলে দ্রবণগুলি সবুজাভ হলুদবর্ণে (Greenish yellow Colour-এ) পরিণত হয়।

$$MnO_2+4HCl=MnCl_2+Cl_2+2H_2O$$
$$2KMnO_4+16HCl=2KCl+2MnCl_2+5Cl_2+8H_2O$$
$$PbO_2+4HCl=PbCl_2+2H_2O+Cl_2$$

(vi) **ধাতব লবণের ক্রিয়া :** সিলভার, লেড (আস) ও মারকারি (আস) যৌগের জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ মেশালে ধাতব ক্লোরাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। $AgNO_3+HCl=AgCl+HNO_3$

$$Hg_2(NO_3)_2+2HCl=Hg_2Cl_2+2HNO_3$$
$$Pb(NO_3)_2+2HCl=PbCl_2+2HNO_3$$

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড এবং ক্লোরাইডের সনাক্তকরণ :

(i) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড বা ক্লোরাইড লবণকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে তীব্র ঝাঁঝালো অপ্রীতিকর গন্ধযুক্ত সবুজাভ-হলুদ বর্ণের ক্লোরিন গ্যাস নির্গত হয়।

(ii) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড বা ধাতব ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি অ্যামোনিয়াতে দ্রবণীয় কিন্তু নাইট্রিক অ্যাসিডে অদ্রবণীয়।

$$AgNO_3+NaCl=AgCl+NaNO_3$$
$$AgCl+2NH_3=[Ag(NH_3)_2]Cl$$

(iii) ক্লোরাইড লবণ, গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও পটাসিয়াম ডাইক্রোমেটের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে ক্রোমিল ক্লোরাইডের (CrO_2Cl_2) গাঢ় লালরঙের গ্যাস নির্গত হয়। নির্গত গ্যাসকে কস্টিকসোডা-দ্রবণে

দ্রবীভূত করে তার মধ্যে অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও লেড অ্যাসিটেট দ্রবণ মেশালে হলুদবর্ণের লেডক্রোমেট ($PbCrO_4$) অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$4KCl+K_2Cr_2O_7+6H_2SO_4=6KHSO_4+2CrO_2Cl_2+3H_2O$$
$$CrO_2Cl_2+4NaOH=Na_2CrO_4+NaCl+2H_2O$$
$$Na_2CrO_4+Pb(CH_3COO)_2=PbCrO_4+2CH_3COONa$$

ব্যবহার ঃ (i) পরীক্ষাগারে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড একটি অবশ্য প্রয়োজনীয় বিকারক।

(ii) এই অ্যাসিডের সাহায্যে ক্লোরিন গ্যাস এবং অনেক ধাতব ক্লোরাইড প্রস্তুত করা হয়।

(iii) রঞ্জন শিল্পে, ঔষধ প্রস্তুতিতে এবং গ্যালভানাইজড্ টিন শিল্পে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের চাহিদা আছে।

(iv) গ্লুকোজ, সিরাপ, 'গ্লু'আটা এবং অম্লরাজ প্রভৃতি তৈরীর জন্যও অ্যাসিডটি ব্যবহৃত হয়। অম্লরাজে গোল্ড, প্লাটিনাম প্রভৃতি বরধাতু. (Noble metals) দ্রবীভূত হয়।

15.5 হাইড্রোজেন ব্রোমাইড (Hydrogen bromide ; HBr) ঃ

হাইড্রোজেন ও ব্রোমিনের এই দ্বি-মৌলিক যৌগটি সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন কোরেন উইনডার (Coren winder, 1852)। আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্ভূত গ্যাসে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস বা হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড থাকে।

হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের প্রস্তুত-প্রণালীসমূহ ঃ

(1) পরীক্ষাগার-পদ্ধতি ঃ পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের ন্যায় হাইড্রোজেন ব্রোমাইডকে ব্রোমাইড লবণ ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা যায় না। কারণ, বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস বিক্রিয়ক সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্বারা জারিত হয়ে ব্রোমিনে পরিণত হয়।

$$2KBr+2H_2SO_4=2KHSO_4+2HBr$$
$$2HBr+H_2SO_4=Br_2+SO_2+2H_2O$$

সাধারণতঃ লোহিত ফসফরাস ও জলের মিশ্রণের সঙ্গে ব্রোমিনের বিক্রিয়ায় পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড প্রস্তুত করা হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়াটি দুইটি ধাপে সম্পন্ন হয়। প্রথম ধাপে লোহিত ফসফরাস ও ব্রোমিনের বিক্রিয়ায় ফসফরাস ব্রোমাইড (পেণ্টা-বা ট্রাই) উৎপন্ন হয়।

$2P+5Br_2=2PBr_5$ (ফসফরাস পেণ্টা-ব্রোমাইড)

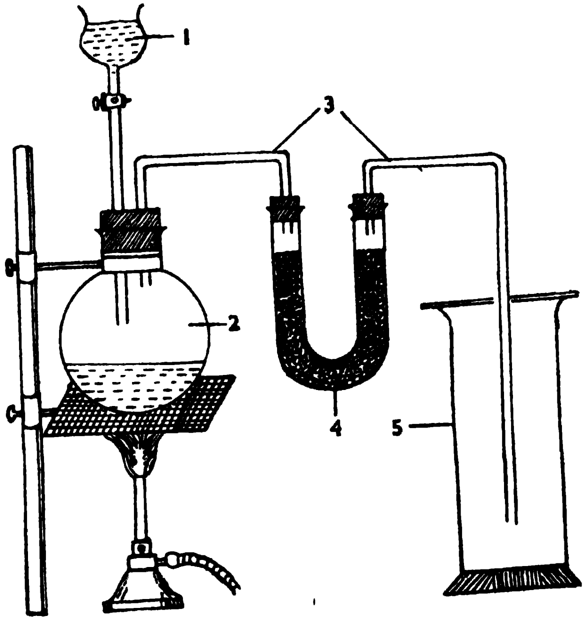
$2P+3Br_2=2PBr_3$ (ফসফরাস ট্রাই-ব্রোমাইড)

দ্বিতীয় ধাপে ফসফরাস ব্রোমাইড জলদ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় এবং হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$PBr_5+4H_2O=H_3PO_4+5HBr$$

$$PBr_3+3H_2O=H_3PO_3+3HBr$$

দীর্ঘনল ফানেল ও নির্গম-নলযুক্ত একটি পরিষ্কার ফ্লাস্কে 1 : 20 আয়তন অনুপাতে লোহিত ফসফরাস ও জলের মিশ্রণ নেওয়া হয়। নির্গমনলের খোলা মুখটি যুক্ত থাকে একটি ইউ-টিউবের সঙ্গে। এই টিউবটি কাঁচ ও লোহিত ফসফরাসের টুকরোতে ভরা থাকে। ইউ-টিউব থেকে একটি



1. ষ্টপককযুক্ত দীর্ঘনল ফানেল 2. ফ্লাস্ক 3. নির্গমনল
4. U-টিউব 5. গ্যাসজার
15. 5. 1নং চিত্র

নির্গমনল ঊর্ধ্ব-মুখ গ্যাসজারে ঢুকিয়ে রাখা হয় (15.5.1 নং চিত্র) এখন দীর্ঘনল ফানেলের সাহায্যে ফ্লাস্কের মিশ্রণে ফোঁটা ফোঁটা করে ব্রোমিন ঢাললে ব্রোমিন-বাষ্প-মিশ্রিত হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস নির্গত হয়। সামান্য তাপ দিলে বিক্রিয়াটির গতি দ্রুততর হয়। ইউ-টিউবের ভিতর দিয়ে যাওয়ার সময় নির্গত গ্যাস মিশ্রণটির ব্রোমিন-বাষ্প লোহিত ফসফরাস ও

কাচের টুক্‌রো দ্বারা শোষিত হয়। অবশিষ্ট হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাসকে বায়ুর উর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়। এই গ্যাস পারদের সঙ্গে কোনরূপ বিক্রিয়া করে না। তাই পারদের উপর একে সংগ্রহ সুবিধাজনক।

বিশুদ্ধিকরণ ঃ পরীক্ষাগারে উৎপন্ন হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাসে অল্প পরিমাণে জলীয় বাষ্প মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসকে শুষ্ক $CaCl_2$-এর উপর দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। ফলে গ্যাসটি সম্পূর্ণরূপে নিরুদিত হয়। তারপর এই অনার্দ্র বিশুদ্ধ গ্যাসকে পারদের উপর সংগ্রহ করা হয়।

(2) ব্রোমিন-জলে (Bromine water-এ) হাইড্রোজেন সালফাইড অথবা সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস পাঠালে হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়।

$$Br_2+H_2S=2HBr+S$$

$$Br_2+SO_2+2H_2O=2HBr+H_2SO_4$$

(3) হাইড্রোজেন ও ব্রোমিনের গ্যাসীয় মিশ্রণকে 200°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্লাটিনাম অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। $H_2+Br_2 \rightleftharpoons 2HBr$

ধর্ম ঃ (a) **ভৌত ধর্ম ঃ** (i) হাইড্রোজেন ব্রোমাইড একটি বর্ণহীন ও কটু গন্ধী গ্যাস। (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে ভারী এবং আর্দ্র বায়ুতে ধূমায়িত হয়।

(iii) হাইড্রোজেন ব্রোমাইড জলে অতি মাত্রায় দ্রবণীয়। জলীয় দ্রবণ হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড নামে পরিচিত। (iv) গ্যাসটি দাহ্য নয় এবং দহনের সহায়ক নয়।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** (i) হাইড্রোজেন ব্রোমাইড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় এবং প্রোটন উৎপন্ন করে। $HBr \rightleftharpoons H^+ + Br^-$

তাই হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণ এক-ক্ষারকীয় তীব্র অ্যাসিড-ধর্মী। এই দ্রবণ নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং ধাতু, ক্ষারক ও লবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রশম লবণ গঠন করে।

$$KOH+HBr=KBr+H_2O$$

$$Na_2CO_3+2HBr=2NaBr+CO_2+H_2O$$

(ii) বায়ুর সংস্পর্শে ও সূর্যালোকে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড অক্সিজেনের দ্বারা জারিত হয় এবং বাদামীবর্ণের ব্রোমিন গ্যাস উৎপন্ন করে। এজন্য

অ্যাসিডটিকে খোলা অবস্থায় বায়ুতে রেখে দিলে সেটি বাদামী বর্ণের হয়ে যায়।

$$4HBr + O_2 = 2H_2O + 2Br_2$$

(iii) ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড, পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, ক্লোরিন, গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ইত্যাদি জারক পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ব্রোমাইড অতি সহজেই ব্রোমিনে জারিত হয়। ফলে দ্রবণগুলি বাদামী বা হাল্‌কা হলুদ বর্ণে পরিণত হয়।

$$MnO_2 + 4HBr = MnBr_2 + 2H_2O + Br_2$$

$$2KMnO_4 + 16HBr = 2KBr + 2MnBr_2 + 5Br_2 + 8H_2O$$

$$Cl_2 + 2HBr = 2HCl + Br_2$$

$$H_2SO_4 + 2HBr = Br_2 + SO_2 + 2H_2O$$

(iv) হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ মেশালে সিলভার ব্রোমাইডের (AgBr) অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$AgNO_3 + HBr = AgBr + HNO_3$$

হাইড্রোজেন ব্রোমাইড এবং ব্রোমাইডমূলকের সনাক্তকরণঃ (i) হাইড্রোজেন ব্রোমাইড বা ধাতব ব্রোমাইডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে বাদামীবর্ণের ব্রোমিন গ্যাস নির্গত হয়। ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের উপস্থিতিতে আরো সহজে জারিত হয় এবং ব্রোমিন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2KBr + H_2SO_4 = Br_2 + K_2SO_3 + H_2O$$

$$2HBr + H_2SO_4 = Br_2 + 2H_2O + SO_2$$

$$2HBr + MnO_2 = Br_2 + MnBr_2 + 2H_2O$$

$$2KBr + MnO_2 + 3H_2SO_4 = 2KHSO_4 + MnSO_4 + 2H_2O + Br_2$$

(ii) হাইড্রোজেন ব্রোমাইড বা ধাতব ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে সিলভার ব্রোমাইডের বাদামী অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি নাইট্রিক অ্যাসিডে অদ্রাব্য, কিন্তু অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া দ্রবণে দ্রবীভূত হয়।

$$AgNO_3 + KBr = AgBr + KNO_3$$

(iii) ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণে ক্লোরিন-ওয়াটার ও জৈব দ্রাবক (Organic solvent ; যেমন, ক্লোরোফরম, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড অথবা কার্বন ডাই-সালফাইড) মিশিয়ে ভাল করে ঝাঁকালে জৈব দ্রাবকটির বর্ণ

বাদামী হয়। ব্রোমাইড ও ক্লোরিন-ওয়াটারের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ব্রোমিন গ্যাসটি জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত হওয়ার জন্য এরূপ হয়।

হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের ব্যবহার ঃ (i) বিভিন্ন ধাতব ব্রোমাইড লবণ তৈরী করতে হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের প্রয়োজন হয়। এই লবণগুলির মধ্যে ঔষধ প্রস্তুতিতে KBr লবণ এবং ফটোগ্রাফীতে AgBr লবণের ব্যবহার উল্লেখযোগ্য।

(ii) অনেক জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ব্যবহৃত হয়।

(iii) পরীক্ষাগারে ব্রোমাইড লবণ থেকে ব্রোমিন গ্যাস প্রস্তুত করা হয়।

15.6 হাইড্রোজেন আয়োডাইড (Hydrogen iodide, ; HI) ঃ 1813 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ডেভি (Devy) সর্বপ্রথম হাইড্রোজেন আয়োডাইড আবিষ্কার করেন। আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্ভূত গ্যাসে অল্প পরিমাণে হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস বা হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড থাকে। অ্যাসিডটির ধাতব লবণ প্রকৃতিতে কোনো কোনো খনিজে অল্পবিস্তর দেখা যায়।

প্রস্তুত প্রণালী সমূহ ঃ (1) পরীক্ষাগার-পদ্ধতি ঃ পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের ন্যায় হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসকে আয়োডাইড লবণ ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা যায় না। কারণ, বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে আয়োডিন গ্যাসে জারিত হয়।

$$2KI+2H_2SO_4=2KHSO_4+2HI$$

$$2HI+H_2SO_4=I_2+SO_2+2H_2O$$

সাধারণতঃ লোহিত ফসফরাস ও আয়োডিনের মিশ্রণের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন আয়োডাইড প্রস্তুত করা হয়।

বস্তুতঃ রাসায়নিক বিক্রিয়াটি দুইটি ধাপে সম্পন্ন হয়। প্রথম ধাপে লোহিত ফসফরাস আয়োডিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফসফরাস ট্রাই-আয়োডাইড গঠন করে। $2P+3I_2=2PI_3$

দ্বিতীয় ধাপে এই ট্রাই-আয়োডাইড জলদ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষিত হয় এবং আয়োডিন গ্যাসে পরিণত হয়।

$$2PI_3+6H_2O=2H_3PO_3+6HI$$

দীর্ঘনল ফানেল ও নির্গমনলযুক্ত একটি পরিষ্কার ফ্লাস্কে 1:20 আয়তন

অনুপাতে লোহিত ফসফরাস ও আয়োডিনের মিশ্রণ নেওয়া হয়। নির্গমনলের খোলা মুখটি যুক্ত থাকে একটি ইউ-টিউবের সঙ্গে। এটি কাঁচ ও লোহিত ফসফরাসের টুকরোতে ভরা থাকে। ইউ-টিউবে যুক্ত নির্গম নলটির খোলা মুখটি প্রবেশ করানো হয় একটি ঊর্দ্ধমুখ গ্যাসজারের মধ্যে (চিত্র 15. 5.1-এর অনুরূপ)। এখন দীর্ঘনল ফানেল থেকে ফ্লাস্কের মিশ্রণে ফোঁটা ফোঁটা করে জল যোগ করলে ফ্লাস্কের ভিতর হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। প্রয়োজন বোধে মিশ্রণে সামান্য তাপ প্রয়োগ করতে হয়। নির্গত গ্যাসে হাইড্রোজেন আয়োডাইড ছাড়া অল্প পরিমাণে আয়োডিন-বাষ্পও থাকে। এই গ্যাস মিশ্রণকে তখন ইউ-টিউবের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। এখানে আয়োডিন-বাষ্প সম্পূর্ণরূপে শোষিত হয়। অবশিষ্ট হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসকে বায়ুর ঊর্দ্ধ অপসারণদ্বারা গ্যাস জারে সংগ্রহ করা হয়।

বিঃ দ্রঃ [হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস পারদের সঙ্গে বিক্রিয়া করে তাই একে পারদের উপর সংগ্রহ করা যায় না।]

উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে তৈরী করা হয় হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড।

বিশুদ্ধিকরণ ঃ পরীক্ষাগারে উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসের সঙ্গে অপদ্রব্য হিসাবে অল্প পরিমাণে জলীয় বাষ্প মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসকে অনার্দ্র P_2O_5-এর উপর দিয়ে চালনা করে বিশুদ্ধ ও অনার্দ্র হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস তৈরী করা হয়।

(2) আয়োডাইড লবণের সঙ্গে ফসফরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড তৈরী হয়।

$$3KI+H_3PO_4=3HI+K_3PO_4$$

(3) হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন বাষ্পের মিশ্রণকে উত্তপ্ত প্লাটিনাম অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। $H_2+I_2 \rightleftharpoons 2HI$

(4) আয়োডিনের জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস পাঠালে সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং হাইড্রোজেন আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ তৈরী হয়। পরিস্রাবনের সাহায্যে ঐ জলীয় দ্রবণকে সালফার থেকে আলাদা করে নেওয়া হয়। $I_2+H_2S=S+2HI$

ধর্ম ঃ (a) ভৌত ধর্ম ঃ (i) হাইড্রোজেন আয়োডাইড একটি বর্ণহীন, স্বচ্ছ ও কটুগন্ধী গ্যাস। (ii) গ্যাসটি বায়ুর চেয়ে ভারী এবং

আর্দ্র বায়ুতে ধূমায়িত হতে থাকে। (iii) এটি জলে অতি মাত্রায় দ্রবণীয় জলীয় দ্রবণকে বলা হয় হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড। (iv) 0°C উষ্ণতায় ও 4 আটমসফিয়ার চাপে এই গ্যাসকে তরলীভূত করা যায়। (v) গ্যাসটি দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়।

(b) **রাসায়নিক ধর্ম**ঃ (i) হাইড্রোজেন আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ আয়নিত হয় এবং এটি প্রোটন উৎপন্ন করে। $HI \rightleftharpoons H^+ + I^-$

সুতরাং, গ্যাসটির জলীয় দ্রবণ এক-ক্ষারকীয় তীব্র অ্যাসিড। এটি নীল লিটমাস দ্রবণকে লাল করে এবং ক্ষার ও ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রশম-লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$KOH + HI = KI + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2HI = 2NaI + CO_2 + H_2O$$

(ii) বায়ুর সংস্পর্শে ও সূর্যালোকে অক্সিজেনের দ্বারা হাইড্রোজেন আয়োডাইড জারিত হয়ে বেগুনী আয়োডিন গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$4HI + O_2 = 2H_2O + 2I_2$$

এজন্য বায়ুতে উন্মুক্ত হাইড্রোজেন আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ ক্রমশঃ বাদামী বর্ণ ধারণ করে।

(iii) **বিজারণ ক্রিয়া**ঃ হাইড্রোজেন আয়োডাইড স্বতঃই H_2 ও I_2-এ বিয়োজিত হয়। সুতরাং, এটি একটি তীব্র বিজারক দ্রব্য। হাইড্রোজেন আয়োডাইড ক্লোরিন, ব্রোমিন, ওজোন, সালফিউরিক অ্যাসিড, নাইট্রিক-অ্যাসিড, ফেরিক লবণ, কিউপ্রিক লবণ এবং হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড প্রভৃতিকে বিজারিত করে এবং নিজে জারিত হয়ে আয়োডিনে পরিণত হয়।

$$2HI + Cl_2 = 2HCl + I_2 \; ; \; 2HI + Br_2 = 2HBr + I_2$$

$$2HI + O_3 = H_2O + O_2 + I_2 \; ; \; 2HI + H_2SO_4 = SO_2 + I_2 + 2H_2O$$

$$2HI + 2HNO_3 = 2NO_2 + I_2 + 2H_2O$$

$$2HI + 2FeCl_3 = 2FeCl_2 + I_2 + 2HCl$$

$$4HI + 2CuSO_4 = Cu_2I_2 + I_2 + 2H_2SO_4$$

হাইড্রোজেন আয়োডাইড পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও পটাসিয়াম ডাইক্রোমেটের অম্লীকৃত দ্রবণকে যথাক্রমে বর্ণহীন ও সবুজ করে।

$$10HI + 2KMnO_4 + 4H_2SO_4 = 2KHSO_4 + 2MnSO_4 + 5I_2 + 8H_2O$$

$$6HI + K_2Cr_2O_7 + 5H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 2KHSO_4 + 3I_2 + 7H_2O$$

হাইড্রোজেন আয়োডাইড এবং আয়োডাইড-মূলকের

সনাক্তকরণ : (i) হাইড্রোজেন আয়োডাইড বা আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ মেশালে ঈষৎ পীতাভ সিলভার আয়োডাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপ নাইট্রিক অ্যাসিড ও অ্যামোনিয়া দ্রবণে অদ্রবণীয়। $AgNO_3+KI=AgI+KNO_3$

(ii) আয়োডাইডে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বেগুনী বর্ণের আয়োডিন গ্যাস বের হয়। জারণ ক্রিয়াটি ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের উপস্থিতিতে আরো সহজে সংঘটিত হয় এবং প্রচুর পরিমাণে আয়োডিন গ্যাস বের হতে থাকে।

$$2KI+H_2SO_4=K_2SO_3+H_2O+I_2$$

$$2KI+MnO_2+3H_2SO_4=MnSO_4+2KHSO_4+2H_2O+I_2$$

(iii) আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে ক্লোরিন-ওয়াটার (পরিমিত) ও জৈব দ্রাবক (Organic solvent ; ক্লোরোফরম, কার্বন টেট্রা-ক্লোরাইড অথবা কার্বন ডাই-সালফাইড) মিশিয়ে ঝাঁকালে জৈব দ্রাবকটির বর্ণ বেগুনী হয়। আয়োডাইড ও ক্লোরিন-ওয়াটারের বিক্রিয়ায় প্রথমে বেগুনী আয়োডিন গ্যাস উৎপন্ন হয়, পরে এই গ্যাস জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়।

অতিরিক্ত ক্লোরিন-ওয়াটার সহযোগে জৈব দ্রাবকটি পুনরায় বর্ণহীন হয়।

(iv) মারকিউরিক ক্লোরাইড-দ্রবণে অল্প পরিমাণে পটাসিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ মেশালে লালবর্ণের মারকিউরিক আয়োডাইড (HgI_2) অধঃক্ষিপ্ত হয়। অতিরিক্ত আয়োডাইড সহযোগে HgI_2 দ্রবীভূত হয় এবং বর্ণহীন পটাসিয়াম মারকিউরিক আয়োডাইড (K_2HgI_4) গঠিত হয়।

$$2KI+HgCl_2=HgI_2+2KCl\ ;\ HgI_2+2KI=K_2HgI_4$$

ব্যবহার : (i) HI একটি গুরুত্বপূর্ণ বিজারক। অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিশেষতঃ জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এটি বিজারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(ii) এটি থেকে ধাতব আয়োডাইড প্রস্তুত করা হয়। KI ঔষধ প্রস্তুতিতে ও ফটোগ্রাফীতে ব্যবহৃত হয়। অনেক আয়োডাইড লবণ পরীক্ষাগারে বিকারকরূপে ব্যবহার করা হয়। আয়োডাইড থেকে আয়োডিন গ্যাসও প্রস্তুত করা হয়ে থাকে।

প্রশ্নাবলী

1. Mg_3N_2, HCl, NaOH, NH_4NO_3—এই পদার্থগুলির মধ্যে কোন্ কোন্ পদার্থ গ্রহণ করলে তাদের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করা যাবে ? তোমার গৃহীত পদার্থ থেকে গ্যাসটির প্রস্তুতি বিশদভাবে বর্ণনা কর। গ্যাসটির প্রধান প্রধান ব্যবহার উল্লেখ কর।

2. অ্যামোনিয়াতে যে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন আছে প্রমাণ কর। ক্লোরিনের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার কি কি বিক্রিয়া ঘটে ? ধাতুর উপর অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়া উল্লেখ কর।

3. (a) অ্যামোনিয়ার প্রস্তুতির জন্য একটি ছাত্র নিম্নরূপ যন্ত্র সজ্জা করল। একটি গোলতল ফ্লাস্কের মুখ নির্গমনল যুক্ত ছিপি দ্বারা বন্ধ করে নির্গম-নলের অপর প্রান্ত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড পূর্ণ টিউবের সঙ্গে যুক্ত করে দিল এবং ঐ টিউব থেকে একটি নল একটি খালি জারে প্রবেশ করানো হল। যন্ত্র সজ্জায় সে কি ভুল করেছিল ? কিভাবে তা সংশোধন করা যায় ?

(b) প্রমাণ কর—অ্যামোনিয়া একটি ক্ষারক।

(c) নেসলার দ্রবণের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়াটি উল্লেখ করে তার ব্যবহারিক তাৎপর্য উল্লেখ কর।

4. ফসফরাসের কোন্ হাইড্রাইডটি কপার সালফেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কালো অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। পরীক্ষাগারে এটি কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? এটির বিশুদ্ধিকরণের উপায় বর্ণনা কর। বিশুদ্ধ ফসফিন গ্যাস দাহ্য নয়, কিন্তু ফসফরাস ও কস্টিক সোডার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাসটি স্বতঃস্ফূর্ত ভাবে জ্বলে কেন?

5. কোন্ গ্যাস লেড্ অ্যাসিটেট্-সিক্ত কাগজকে কালো করে ? কেন করে ? কিভাবে গ্যাসটি পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করবে ? গ্যাসটির প্রস্তুতিতে নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয় না কেন?

6. হাইড্রোজেন সালফাইডের বিজারণ ধর্মের কারণ কি ? এটির বিজারণ ধর্মের উদাহরণ দাও। প্রতিক্ষেত্রে সালফারের জারণ-সংখ্যার পরিবর্তনের উল্লেখ কর। প্রমাণ কর হাইড্রোজেন সালফাইড সালফারের একটি হাইড্রাইড।

7. জিঙ্ক সালফেটের দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে উৎপন্ন হয় একটি সাদা অধঃক্ষেপ ; গ্যাস চালনার পূর্বে একটু কস্টিক সোডা মিশিয়ে দিলে অধঃক্ষেপের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়—কেন? পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন সালফাইড প্রস্তুতকালে একটি ছাত্র দেখল যে তার হাতের রূপোর আংটি কালো হয়ে গেছে। এর কারণ কি?

ষোড়শ অধ্যায়

কয়েকটি রাসায়নিক দ্রব্যের শিল্প-পদ্ধতি

(Manufacture of some Chemicals)

16.1 অ্যামোনিয়া ঃ বিভিন্ন শিল্পে বিশেষতঃ কৃত্রিম সার শিল্পে অ্যামোনিয়ার চাহিদা সর্বাধিক। ইউরিয়া ও অ্যামোনিয়াম সালফেটের শিল্প-প্রস্তুতিতে প্রচুর পরিমাণে অ্যামোনিয়ার প্রয়োজন হয়। অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদনে সাধারণতঃ তিনটি প্রণালী উল্লেখযোগ্য। যথাঃ (1) হাবের প্রণালী (Haber Process), (2) কয়লার অন্তর্ধূম-পাতন প্রণালী (Destructive distillation of Coal) এবং (3) সায়ানামাইড প্রণালী (Cyanamide Process)।

(1) হাবের প্রণালী ঃ শিল্প-পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়ার উৎপাদনে ব্যবহৃত প্রণালীগুলির মধ্যে হাবের প্রণালীটিই সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ এবং ব্যবহার্য। কারণ প্রণালীটি সহজ এবং স্বল্প ব্যয়সাপেক্ষ। 1905 খ্রীষ্টাব্দে জার্মাণ বিজ্ঞানী হাবের নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন থেকে অ্যামোনিয়া প্রস্তুতির শিল্প-পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন।

নীতি (Principle) ঃ ফেরিক অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে 550°C উষ্ণতা এবং 200 অ্যাট্মসফিয়ার চাপে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন 1 ঃ 3 আয়তনের অনুপাতে যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস গঠন করে।

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 22\ KCal$$

বিক্রিয়াটি উভমুখী। তাই অ্যামোনিয়ার সার্থক উৎপাদনের জন্য কয়েকটি বিশেষ ব্যবস্থা গ্রহণ করা প্রয়োজন।

(ক) উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক (Exothermic)। সুতরাং লা শ্যাট-এলিয়ারের নীতি (Le Chatelier Principle) অনুসারে এক্ষেত্রে নিম্ন তাপমাত্রায় অ্যামোনিয়ার উৎপাদন বেশী হওয়া সম্ভব। কিন্তু নিম্ন তাপমাত্রায় আবার বিক্রিয়ার গতি মন্থর হয়ে পড়ে। তাই বিক্রিয়াটিকে এমন একটি তাপমাত্রায় সংঘটিত করা হয় যাতে করে বিক্রিয়াটির গতিও বেশী মন্থর হয় না এবং অ্যামোনিয়ার উৎপাদনও একেবারে কম হয় না। এই বিশেষ তাপমাত্রাকে বলা হয় "অনুকূলতম উষ্ণতা (Optimum temperature)। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় অনুকূলতম উষ্ণতা 550°C হলে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন হয় সবচেয়ে বেশী।

(খ) উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় এক আয়তন নাইট্রোজেন দুই আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দুই আয়তন অ্যামোনিয়া গঠন করে। অর্থাৎ, মোট চার আয়তন বিক্রিয়ক থেকে দুই আয়তন বিক্রিয়াজাত পদার্থ পাওয়া যায়। সুতরাং বিক্রিয়াটিতে বিক্রিয়কগুলির আয়তনের সংকোচন ঘটেছে। লা শ্যাটে-এলিয়ারের নীতি অনুসারে এক্ষেত্রে চাপ বাড়লে উৎপন্ন অ্যামোনিয়ার পরিমাণ বাড়ে। সুতরাং বিক্রিয়াটিকে বেশী চাপে সম্পন্ন করা প্রয়োজন। সাধারণতঃ এই বিক্রিয়ায় চাপ 100-250 অ্যাটমস্ফিয়ার রাখা হয়। এই পরিমাণ চাপ সহ্য করার জন্য বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠটি ইস্পাত, ক্রোমিয়াম ও ভ্যানাডিয়ামের ধাতু সংকর দিয়ে তৈরী করা হয়।

(গ) নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতিকে বাড়ানোর জন্য অনুঘটকের ব্যবহার একান্ত প্রয়োজন। এই বিক্রিয়ার পক্ষে লোহা-চুর একটি উৎকৃষ্ট অনুঘটক। এর সঙ্গে অল্পপরিমাণে মলিবডেনাম বা K_2O ও Al_2O_3-এর মিশ্রণ মিশিয়ে নিলে তা উদ্দীপকের (Promoter) কাজ করে। লোহা-চুরের পরিবর্তে Fe_3O_4-কেও অনুঘটকরূপে ব্যবহার করা যেতে পারে। সেক্ষেত্রে Fe_3O_4 বিজারিত হয়ে লোহা-চুরে পরিণত হয়। অসমিয়াম (Os) বা ইউরেনিয়াম (U)-চুরও এই প্রক্রিয়ায় অনুঘটকের কাজ করে।

(ঘ) **বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির প্রাপ্তিঃ** বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন বিশুদ্ধ ও শুষ্ক হওয়া বাঞ্ছনীয়, নতুবা উৎপন্ন অ্যামোনিয়া গ্যাস বিশুদ্ধ হবে না। তাছাড়া অবিশুদ্ধ (Impure) গ্যাস-মিশ্রণের দ্বারা অনুঘটকের ক্ষতি হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। জলের বিদ্যুৎ-বিশ্লেষণ থেকে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন এবং তরল বায়ুর আংশিক পাতন থেকে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন তৈরী করা সম্ভব। কিন্তু আজকাল বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই বস্ প্রণালীতে (Bosch Process) প্রস্তুত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণ ব্যবহার করা হয়। লোহিত-তপ্ত (Red hot) কোক কয়লার উপর বায়ু ও স্টীম চালনা করলে উৎপন্ন হয় যথাক্রমে প্রডিউসার গ্যাস (Producer gas) ও ওয়াটার গ্যাস (Water gas)।

$$2C+(N_2+O_2) \text{ বায়ু}=(2CO+N_2) \text{ প্রডিউসার গ্যাস}$$

$$C+H_2O=(CO+H_2) \text{ ওয়াটার গ্যাস}$$

এই প্রডিউসার গ্যাস ও ওয়াটার গ্যাসকে এমনভাবে মেশানো হয় যাতে ঐ মিশ্রণে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের আয়তনের অনুপাত দাঁড়ায় 1 : 3। এই গ্যাস মিশ্রণকে অতিরিক্ত স্টীমসহ 450°C উষ্ণতায় Fe_2O_3 এবং Cr_2O_3-

এর মিশ্রণের উপর দিয়ে চালনা করা হয়। ফলে গ্যাস মিশ্রণের কার্বন মনোক্সাইড স্টীম দ্বারা কার্বন ডাই-অক্সাইডে জারিত হয়।

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$$

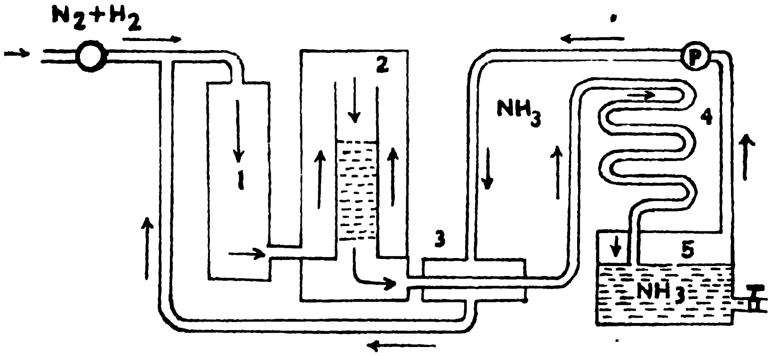
কিন্তু নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন অবিকৃত থাকে। উৎপন্ন গ্যাস মিশ্রণকে ক্রমান্বয়ে 25 অ্যাট্‌মসফিয়ার চাপে জলের ভিতর দিয়ে এবং 250 অ্যাট্‌মসফিয়ার চাপে অ্যামোনিয়াক্যাল কিউপ্রাস ফরমেটের দ্রবণের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। এতে ঐ মিশ্রণের সমস্ত কার্বন ডাইঅক্সাইড ও কার্বন মনোক্সাইড গ্যাস দূরীভূত হয়। অতঃপর কোনো নিরুদকের সাহায্যে অবশিষ্ট নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন গ্যাস মিশ্রণকে শুষ্ক করে নিয়ে অ্যামোনিয়া প্রস্তুতিতে ব্যবহার করা হয়।

চাপ ও উষ্ণতার সঙ্গে উৎপন্ন অ্যামোনিয়ার পরিমাণের (শতকরা হিসেবে) সম্পর্কের ছক নীচে দেওয়া হল।

চাপ	10	100	300	690	1000 অ্যাটমস্‌ফিয়ার
400°C	3·85	25·00	47·00	65·00	80·00
450°C	2·10	16·50	36·00	54-00	70·00
500°C	1·20	10·60	26·40	42·00	57·50
550°C	0·76	6·80	19·00	32·00	41·00
600°C	0·50	4·50	14·00	23·00	31·50
700°C	0·23	2·20	7·30	12·60	13·00

প্রক্রিয়ার বিবরণ ঃ 1 ঃ 3 আয়তনের অনুপাতে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে প্রথমে সংনমন পাম্পের (Compression-pump) সাহায্যে 200 অ্যাটমস্‌ফিয়ার চাপে সংনমিত করা হয় এবং আরেকটি পাম্পের সাহায্যে শুষ্ক সোডা লাইমের টাওয়ারে (Sodalime drying tower) (1) চালনা করা হয়। নির্গত বিশুদ্ধ ও শুষ্ক গ্যাস মিশ্রণ তখন অনুঘটক প্রকোষ্ঠে (Catalyst Chamber) (2) প্রবেশ করে। প্রকোষ্ঠটি ক্রোম-ভ্যানাডিয়াম-স্টীলের তৈরী এবং এর দুইটি অংশ থাকে, (i) বহিঃ-প্রকোষ্ঠ ও (ii) অভ্যন্তরীন কেন্দ্রীয় প্রকোষ্ঠ। কেন্দ্রীয় প্রকোষ্ঠে থাকে অনুঘটক (লোহা-চুর) ও উদ্দীপকের (মলিবডেনাম) মিশ্রণ। বিক্রিয়ার প্রারম্ভেই এই মিশ্রণকে বৈদ্যুতিক উপায়ে 550°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে নেওয়া হয়। পরে বিক্রিয়ায় উদ্ভূত তাপেই এটি উত্তপ্ত থাকে; পুনরায় উত্তপ্ত

করার প্রয়োজন হয় না। অনুঘটক-প্রকোষ্ঠে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন গ্যাস-মিশ্রণ বহিঃপ্রকোষ্ঠের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার পর কেন্দ্রীয়



16. 1. 1নং চিত্র

প্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে। এখানে 550°C উষ্ণতায় অনুঘটকের সংস্পর্শে গ্যাস-মিশ্রণের 12% গ্যাস অ্যামোনিয়াতে পরিণত হয়।

বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক বলে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে উদ্ভূত তাপের পরিমাণও বৃদ্ধি পেতে থাকে। তাই উপাদানগুলির মিশ্রণকে (N_2 এবং H_2) কেন্দ্রীয় প্রকোষ্ঠের চারিদিকে প্রবাহিত করে বিক্রিয়ার অনুকূলতম উষ্ণতা বজায় রাখা হয়।

অনুঘটক-প্রকোষ্ঠ থেকে যে গ্যাস-মিশ্রণ বের হয় তাতে থাকে 13% অ্যামোনিয়া, অবিকৃত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন। এই গ্যাস-মিশ্রণ তাপ বিনিময়কারী-প্রকোষ্ঠের (Heat interchanger) (3) ভিতর দিয়ে যাওয়ার সময় আগত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে দেয়। এরপর ঐ গ্যাস মিশ্রণ শেষ পর্যায়ে একটি শীতক-কুণ্ডলীর (Cooling Spirals) (4) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। ফলে গ্যাস মিশ্রণের কেবলমাত্র অ্যামোনিয়া গ্যাস ঘনীভূত হয়ে তরলে পরিণত হয়। এই তরল অ্যামোনিয়া (Liquid ammonia) নীচের পাত্রে (5) সঞ্চিত হয়। অবিকৃত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে একটি পাম্পের (P) সাহায্যে তাপ বিনিময়কারী প্রকোষ্ঠের মধ্য দিয়ে অনুঘটক-প্রকোষ্ঠে চালনা করা হয়। এইভাবে প্রক্রিয়াটি অবিরাম চলতে থাকায় প্রায় সমস্ত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন অ্যামোনিয়া গ্যাসে পরিণত হয় (16. 1. 1নং চিত্র)।

অবিকৃত নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনকে অনুঘটক-প্রকোষ্ঠে চালনা না করে মাঝে মাঝে বাইরে বের করে দেওয়া হয়। এতে নাইট্রোজেনের সঙ্গে যে অল্প পরিমাণ অপদ্রব্য (আরগন) থাকে তা দূরীভূত হয়।

চাপ ও উষ্ণতার তারতম্য করে বিভিন্ন দেশে হাবের-প্রণালীর রূপান্তর করা হয়েছে। অ্যামেরিকাতে 475 অ্যাটমসফিয়ার চাপে ও 300°C উষ্ণতায় প্রায় 30% অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করা হয়। ফরাসীদেশে ক্লড-প্রণালীতে (Claude-process) 900 অ্যাটমসফিয়ার চাপ এবং 600°C উষ্ণতা প্রয়োগ করে 40% অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করা সম্ভব হয়েছে।

(2) **কয়লার অন্তর্ধূম পাতন প্রণালী (Destructive distillation of coal) ঃ**

মূলনীতি ঃ কোনো গ্যাসের শিল্প-প্রস্তুতিতে উপজাত পদার্থ (By-product) হিসাবে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়। উদ্ভিদ-দেহজাত কাঁচা কয়লাতে নাইট্রোজেন (1—1·5%) এবং অল্প পরিমাণে হাইড্রোজেন থাকে। এই কয়লাকে অন্তর্ধূম পাতন করলে কয়লাস্থ নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া এবং অ্যামোনিয়াম লবণ গঠন করে।

প্রক্রিয়ার বিবরণ ঃ একটি আবদ্ধ লোহার পাত্রে কাঁচা কয়লা নিয়ে প্রডিউসার গ্যাসের সাহায্যে 700°–1000°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। কয়লার অন্তর্ধূমপাতনে উৎপন্ন উদ্বায়ী পদার্থ সমূহ গ্যাসের আকারে বেরিয়ে আসে। পাত্রটি ঠাণ্ডা হলে ঐ গ্যাস মিশ্রণের কিয়দংশ তরলে পরিণত হয় এবং বাকী অংশ কোল-গ্যাস রূপে থেকে যায়। তরলের উপরের স্তরে থাকে বাদামী বর্ণের অ্যামোনিয়া ও অ্যামোনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণ, আর নীচের স্তরে থাকে অপেক্ষাকৃত ভারী আলকাতরা ও কোকের মিশ্রণ। পাতন ক্রিয়ার সাহায্যে অ্যামোনিয়া ও অ্যামোনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণকে মিশ্রণ থেকে আলাদা করে নেওয়া হয়। এই পাতিত দ্রবণকে বলা হয় "গ্যাস ওয়ার্কসের অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার" (Ammoniacal liquor of gas works)।

পাতিত-অ্যামোনিয়াক্যাল লিকারের মধ্যে স্টীম চালনা করলে অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হয়। এরপর অবশিষ্ট দ্রবণকে চুনের সঙ্গে উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়াম লবণকে অ্যামোনিয়াতে বিয়োজিত করা হয়।

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O$$

উদ্ভূত সমস্ত অ্যামোনিয়া গ্যাসকে বরফ-শীতল জলে দ্রবীভূত করলে উৎপন্ন হয় লিকার আমোনিয়া বা অ্যামোনিয়ার গাঢ় দ্রবণ।

বেশীর ভাগক্ষেত্রে উৎপন্ন অ্যামোনিয়া গ্যাসকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করে অ্যামোনিয়াম সালফেটে পরিণত করা হয়। $H_2SH_4=(NH_4)_2SH_4$; এক টন কয়লা থেকে মাত্র 20-25 পাউণ্ড অ্যামোনিয়াম সালফেট পাওয়া যায়। কৃষিকার্যে অ্যামোনিয়াম সালফেটকে সার হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

$$2NH_4OH+H_2SO_4=(NH_4)_2SO_4+2H_2O$$

(3) সায়ানামাইড প্রণালী (Cyanamide Process):

মূলনীতি: বায়ুতে প্রচুর পরিমাণে নাইট্রোজেন আছে। এই নাইট্রোজেন থেকে সায়ানামাইড প্রণালীতে অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদনের পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন ফ্রাঙ্ক (Frank) এবং কারো (Caro) (1899)।

800°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত ক্যালসিয়াম কার্বাইডের উপর দিয়ে বায়ু চালনা করলে বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ক্যালসিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ক্যালসিয়াম সায়ানামাইড ($CaCN_2$) ও কার্বন গঠন করে।

$$CaC_2+N_2=CaCN_2+C$$

ক্যালসিয়াম সায়ানামাইড 3 অ্যাটমসফিরায় চাপে স্টীমের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে।

$$CaCN_2+3H_2O=CaCO_3+2NH_3$$

প্রক্রিয়ার বিবরণ: চুন ও কোক মিশ্রণে প্রস্তুত ক্যালসিয়াম কার্বাইডকে (CaC_2) বিবর্ণ করে লোহার চুল্লীতে নেওয়া হয়। চুল্লীটিকে বৈদ্যুতিক উপায়ে 800°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এখন বিশুদ্ধ ও শুষ্ক নাইট্রোজেন গ্যাসকে উত্তপ্ত চুল্লীর ভিতরে প্রবাহিত করলে নাইট্রোজেন CaC_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং ক্যালসিয়াম সায়ানামাইড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক। তাই চুল্লীর উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় এবং 1100°C উষ্ণতায় ক্যালসিয়াম সায়ানামাইড ও কার্বন মিলে যে ধূসর বর্ণের পদার্থ গঠন করে সেটি **নাইট্রোলিম** (Nitrolim) নামে পরিচিত। এটি একটি উৎকৃষ্ট সার হিসাবে জমিতে ব্যবহৃত হয়।

বিক্রিয়ার শেষে চুল্লী থেকে নাইট্রোলিমকে বের করে এনে জল দিয়ে ধোয়া হয়। এতে অবিকৃত ক্যালসিয়াম কার্বাইড বিয়োজিত হয়। ধৌত পদার্থকে তখন একটি অটোক্লেভে (Autoclave-এ) নিয়ে তার মধ্যে 3-4

অ্যাটমসফিয়ার চাপে স্টীম চালনা করা হয়। ফলে $CaCN_2$ আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন করে।

অটোক্লেভের চাপ বৃদ্ধিপেয়ে 12—14 অ্যাটমসফিয়ার হয়। এই চাপে উদ্ভূত অ্যামোনিয়া ও স্টীমকে শীতকে চালনা করলে অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ উৎপন্ন হয়। সায়ানামাইড প্রণালীতে অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদন ব্যয়সাপেক্ষ বলে সচরাচর এই প্রণালীতে অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করা হয় না। কিন্তু উৎপন্ন নাইট্রোলিমকে জমিতে সার হিসাবে প্রয়োগ করলে তা থেকে ধীরে ধীরে অ্যামোনিয়া গ্যাস বের হয়। এই গ্যাস পরে জমির ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা নাইট্রেট লবণে পরিণত হয়। উদ্ভিদ এই লবণ খাদ্যরূপে গ্রহণ করে।

$$CaCN_2+H_2O+CO_2=CaCO_3+H_2N.CN \text{ (সায়ানামাইড)}$$

$$H_2N.CN+H_2O=CO(NH_2)_2 \text{ (ইউরিয়া)}$$

$$CO(NH_2)_2+2H_2O=H_2CO_3+2NH_3$$

$$NH_3+\text{জমির ব্যাকটেরিয়া}=\text{নাইট্রেট লবণ}$$

অ্যামোনিয়াম সালফেট, $(NH_4)_2SO_4$: অ্যামোনিয়াম সালফেট একটি উৎকৃষ্ট কৃত্রিম সার। জমিতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ তথা উৎপাদনের ক্ষমতা বাড়ানোর জন্য সাধারণতঃ এই সার ব্যবহৃত হয়। তাই সার হিসাবে অ্যামোনিয়াম সালফেটের চাহিদা খুব বেশী। আমাদের দেশে সিন্ত্রীতে অ্যামোনিয়াম সালফেট তৈরীর কারখানা আছে। কয়লার অন্তর্ধূম পাতনে এবং হাবের প্রণালীতে স্বল্পব্যয়ে প্রচুর পরিমাণে অ্যামোনিয়া উৎপাদিত হয়। এই অ্যামোনিয়া ও খনিজ জিপসাম ($CaSO_4, 2H_2O$) থেকে সিন্ত্রীতে অ্যামোনিয়ম সালফেট তৈরী হয়।

বিচূর্ণ খনিজ জিপসাম জলের সঙ্গে মিশিয়ে তার মধ্যে অ্যামোনিয়া গ্যাস ও কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস প্রবাহিত করলে অ্যামোনিয়াম সালফেট ও ক্যালসিয়াম কার্বনেট তৈরী হয়। $CaCO_3$ অদ্রাব্য। তাই অধঃক্ষেপরূপে থিতিয়ে পড়ে। মিশ্রণ থেকে পরিস্রাবণ দ্বারা অ্যামোনিয়াম সালফেটের জলীয় দ্রবণকে আলাদা করে নেওয়া হয়। এই দ্রবণকে বাষ্পীভূত করলে পাওয়া যায় কঠিন অ্যামোনিয়াম সালফেট।

$$CaSO_4+2NH_3+CO_2+H_2O=CaCO_3+(NH_4)_2SO_4$$

ইউরিয়া, $CO(NH_2)_2$: জমিতে সার হিসাবে ইউরিয়া দেওয়া হয়। শিল্প-পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া ও কার্বন ডাই-অক্সাইডের বিক্রিয়ার ইউরিয়া তৈরী করা হয়ে থাকে।

সামান্য পরিমাণ জলের (অনুঘটক) উপস্থিতিতে 150-200 অ্যাটমস-ফিয়ার চাপে অ্যামোনিয়া ও কার্বন ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণকে 130°—140°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। ফলে, প্রথমে অ্যামোনিয়াম কার্বামেট (H_2N-CO-O-NH_4) তৈরী হয়। পরে এটা বিয়োজিত হয়ে ইউরিয়া ও জল উৎপন্ন করে। $2NH_3+CO_2=H_2N-CO-ONH_4$

$$H_2N—CO\text{-}ONH_4=CO(NH_2)_2+H_2O$$

জমিতে যে ইউরিয়া দেওয়া হয় তা ধীরে ধীরে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে অ্যামোনিয়াতে পরিণত হয়। এই অ্যামোনিয়া আবার জমির ব্যাকটেরিয়ার ক্রিয়ায় জারিত হয়ে নাইট্রেট লবণ গঠন করে। এই নাইট্রেট লবণের কিছু অংশ উদ্ভিদ খাদ্যরূপে গ্রহণ করে।

$$CO(NH_2)_2+2H_2O=H_2CO_3+2NH_3$$

NH_3 + ব্যাকটেরিয়া = নাইট্রেট লবণ।

16.2 নাইট্রিক অ্যাসিড: নাইট্রিক অ্যাসিডের চাহিদা ক্রমশঃ বেড়ে চলেছে। বর্তমানে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এবং নানারকম বিস্ফোরক পদার্থ উৎপাদনে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। তাই সহজে এবং স্বল্প ব্যয়ে প্রচুর পরিমাণে নাইট্রিক অ্যাসিডের উৎপাদনে শিল্প-পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। শিল্প-পদ্ধতিতে সাধারণতঃ তিনটি প্রণালী অনুসৃত হয়।

(1) অসওয়াল্ড প্রণালী—অ্যামোনিয়ার জারণ,

(2) আর্ক প্রণালী—বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সংযোগ

(3) রেটর্ট প্রণালী—চিলি সল্টপিটার ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের পাতন।

(1) অসওয়াল্ড প্রণালী (Ostwald Process): নীতি (i) বর্তমানে হাবের প্রণালীতে সহজে এবং স্বল্প ব্যয়ে প্রচুর পরিমাণে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন সম্ভব। এই অ্যামোনিয়া ও বায়ুর মিশ্রণকে 700°C উষ্ণতায় প্লাটিনাম তার জালি অনুঘটকের উপর দিয়ে দ্রুত চালনা করলে অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O+305\ \text{Kcal}$$

(ii) উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইডকে অতিরিক্ত বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে উৎপন্ন হয় নাইট্রোজেন পার-অক্সাইড (NO_2)।

$$2NO+O_2=2NO_2$$

(iii) এই নাইট্রোজেন পার-অক্সাইড গ্যাস জলের সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিড এবং অল্প পরিমাণে নাইট্রাস অ্যাসিড গঠন করে।

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$$

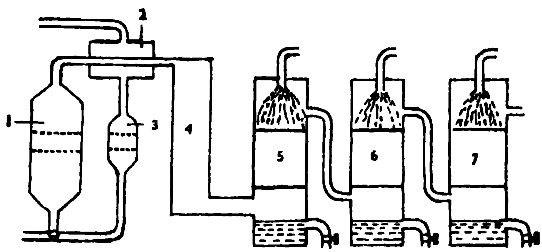
(iv) উপজাত নাইট্রাস অ্যাসিড পুনরায় বিয়োজিত হয়ে আরো নাইট্রিক অ্যাসিড ও নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O$$

এই নাইট্রিক অক্সাইডকে পুনরায় কাজে লাগানো হয়।

প্রক্রিয়ার বিবরণঃ পাম্পের সাহায্যে বায়ুকে প্রথমে তাপ বিনিময়কারী প্রকোষ্ঠে (2) (Heat-interchanger) পাঠানো হয় (16. 2. 1নং চিত্র)। এখানে অ্যামোনিয়ার জারণ ক্রিয়ায় উদ্ভূত উত্তপ্ত গ্যাসের দ্বারা এই বায়ুকে 500°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এই বায়ুতে প্রচুর পরিমাণে ধূলিকণা থাকে। তাই এটিকে ধূলিরোধক স্তম্ভের (3) ভিতর দিয়ে চালনা করে পরিস্রুত করা হয়।

অতঃপর এই উত্তপ্ত বায়ুর সঙ্গে বিশুদ্ধ ও শুষ্ক অ্যামোনিয়া গ্যাস 8 : 1 অনুপাতে মেশানো হয় এবং গ্যাস-মিশ্রণকে যত তাড়াতাড়ি সম্ভব বিক্রিয়া-



16. 2. 1নং চিত্র

প্রকোষ্ঠে (1) পাঠানো হয়। এই প্রকোষ্ঠটি আলুমিনিয়ামের তৈরী এবং এর মধ্যে প্লাটিনাম বা প্লাটিনাম-রোডিয়াম তারজালি অনুঘটক হিসাবে থাকে। বিক্রিয়ার আগে এই তারজালিকে বৈদ্যুতিক উপায়ে উত্তপ্ত করে 700°C উষ্ণতায় রাখা হয়। বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক (Exothermic)। তাই একবার বিক্রিয়া আরম্ভ হয়ে গেলে তখন আর বাহির থেকে তাপ দিয়ে তারজালি উত্তপ্ত করা দরকার হয় না। বিক্রিয়ায় উদ্ভূত তাপই পরবর্তী সময়ের জন্য তারজালিকে 700°C--900°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত রাখে। এই প্রকোষ্ঠে প্রায় 90% অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয়। যে-গতিতে গ্যাস-মিশ্রণটি তারজালির মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় তার

উপর নাইট্রিক অক্সাইড উৎপাদনের পরিমাণ নির্ভর করে। সাধারণতঃ এই প্রণালীতে গ্যাস-মিশ্রণকে তার জালির সান্নিধ্যে 0·001 সেকেণ্ডের বেশী রাখা হয় না। গ্যাস মিশ্রনটির গতি মন্থর হলে অ্যামোনিয়া নাইট্রোজেনে জারিত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

তাপ বিনিময়কারী প্রকোষ্ঠ (2) থেকে যে গ্যাস-মিশ্রণ বেরিয়ে আসে তার প্রধান উপাদান হল নাইট্রিক অক্সাইড। এর সঙ্গে অল্প পরিমাণে নাইট্রোজেন, অতিরিক্ত বায়ু এবং স্টীম থাকে। এই গ্যাস-মিশ্রণকে এরপর অ্যালুমিনিয়াম নলের (4) ভিতর দিয়ে চালনা করে ঠাণ্ডা (50°C) করা হয়। ফলে, নাইট্রিক অক্সাইড অতিরিক্ত বায়ুর অক্সিজেন সহযোগে নাইটোজেন পার-অক্সাইডে পরিণত হয় ($2NO+O_2=2NO_2$)

শেষ পর্যায়ে নাইট্রোজেন পার-অক্সাইড মিশ্রিত এই বায়ু পরপর কয়েকটি শোষকস্তম্ভের (5,6,7) (Absorption tower) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। এই স্তম্ভগুলি স্টেনলেস-স্টীলের তৈরী এবং পাথর কুচিতে ভরা থাকে। স্তম্ভগুলির উপর থেকে শীতল জলের বা পরবর্তী প্রকোষ্ঠের লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের ধারা দেওয়া হয়। নাইট্রোজেন পারঅক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয় এবং স্তম্ভের নীচে 50% নাইট্রিক অ্যাসিড সঞ্চিত হয়।

উদ্ভূত নাইট্রিক অক্সাইড (NO) গ্যাসকে পুনরায় বায়ুদ্বারা নাইট্রোজেন পার-অক্সাইডে পরিণত করা হয়।

এই পার-অক্সাইড থেকে পুনরায় আরও নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী হয়।

(2) আর্ক প্রণালী বা বার্কল্যাণ্ড আইড প্রণালী (Arc process or Birkeland Eyde process) ঃ নীতি ঃ (i) বায়ুকে একটি বৈদ্যুতিক চুল্লীতে 3000°C—3500°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের পরস্পর বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$N_2+O_2 \rightleftharpoons 2NO-43.2 \text{ KCal}$$

(ii) নাইট্রিক অক্সাইড অতিরিক্ত অক্সিজেনসহযোগে জারিত হয় এবং নাইট্রোজেন পারঅক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$2NO+O_2=2NO_2$$

(iii) নাইট্রোজেন পার-অক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয়ে উৎপন্ন করে নাইট্রিক অ্যাসিড।

$$2NO_2+H_2O=HNO_3+HNO_2$$

(iv) উপজাত নাইট্রাস অ্যাসিড পুনরায় বিয়োজিত হয় এবং

আরোও নাইট্রিক অ্যাসিড ও নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। এই নাইট্রিক অক্সাইডকে পুনরায় নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে ব্যবহার করা যেতে পারে।

$$3HNO_2 = HNO_3 + H_2O + 2NO$$

মূলতঃ এই প্রণালীতে নাইট্রিক অক্সাইডের প্রস্তুতির উপর নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদন নির্ভর করে। তাই যাতে নাইট্রিক অক্সাইডের উৎপাদন বেশী হয় সেদিকে বিশেষ লক্ষ্য রাখা হয়।

$$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO - 43.2 \text{ KCal}$$

এই বিক্রিয়াটি উভমুখী (Reversible) এবং তাপশোষক (Endothermic) সুতরাং লা শ্যাট-এলিয়ারের নীতি অনুসারে এক্ষেত্রে উচ্চতাপমাত্রায় নাইট্রিক অক্সাইডের উৎপাদন বেশী হওয়া সম্ভব। দেখা গেছে যে, 3000°C উষ্ণতায় 5% নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসকে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করলে এর কিছু অংশ বিয়োজিত হয়। ফলে, উৎপাদনের পরিমাণ কমে যায়। সুতরাং উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস মিশ্রণকে খুব তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা করা উচিত।

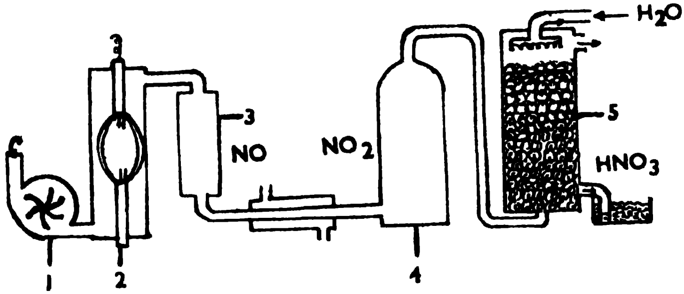
উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী বিক্রিয়কগুলির আয়তনের সংকোচন ঘটে না। সুতরাং লা শ্যাট-এলিয়ারের নীতি অনুসারে এক্ষেত্রে বিক্রিয়াটির উপর চাপের হ্রাস বা বৃদ্ধির কোন প্রভাব থাকবে না।

প্রক্রিয়ার বিবরণঃ একটি বিদ্যুৎ-শিখার (Electric arc) মাধ্যমে শুষ্ক বায়ুকে প্রথমে 3000°C—3500°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত বৈদ্যুতিক চুল্লীতে প্রবাহিত করা হয়। প্রচণ্ড উত্তাপে বায়ুস্থ নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন পরস্পর বিক্রিয়া করে এবং নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়। এখানে বায়ুর শতকরা 1·5 ভাগ অক্সিজেন নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন গ্যাস-মিশ্রণকে শীতল-কক্ষে (Cooling chamber) 1000°C উষ্ণতায় ঠাণ্ডা করা হয়, ফলে উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইড (1%) বিয়োজিত হতে পারে না। জারণ-কক্ষে এই গ্যাস-মিশ্রণকে 50°C উষ্ণতায় ঠাণ্ডা করলে নাইট্রিক অক্সাইড জারিত হয়ে নাইট্রোজেন পার-অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

উৎপন্ন নাইট্রোজেন পার-অক্সাইড গ্যাস-মিশ্রণ এরপর শোষক স্তম্ভে প্রবেশ করে। স্তম্ভটি পাথরের তৈরী এবং এটি পাথর কুচিতে ভরা থাকে। স্তম্ভের উপর থেকে জলের বা লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের ধারা দেওয়া হয়। নাইট্রোজেন

পার-অক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয় এবং নাইট্রিক অ্যাসিড নীচের গ্রাহকে সঞ্চিত হয় (16. 2. 2নং চিত্র) ।



1. বায়ু-সংনমন যন্ত্র 2. বৈদ্যুতিক চুল্লী 3. শীতল-কক্ষ 4. জারণ-কক্ষ 5. শোষণস্তম্ভ
16. 2. 2নং চিত্র

আপাত দৃষ্টিতে এই প্রণালীতে নাইট্রিক অ্যাসিডের উৎপাদন সহজ এবং সুলভ বলে মনে হয়। কারণ প্রয়োজনীয় কাঁচামাল—বায়ু ও জলের জন্য কোনো পয়সা খরচ হয় না। কিন্তু এই প্রণালীতে প্রচুর পরিমাণে বিদ্যুতের প্রয়োজন হয় এবং সব দেশে বিদ্যুৎ-শক্তি সুলভ নয়। তাছাড়া আজকাল অনেক সহজে ও কম খরচায় অসওয়াল্ড প্রণালীতে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরা করা যায়। এই সব কারণে এখন আর কোথাও আর্কপ্রণালীতে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয় না।

(3) **রেটর্ট প্রণালী** (**Retort process**) **ঃ নীতি ঃ** সোডিয়াম বা পটাসিয়াম নাইট্রেটকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশিয়ে 200°C—250°C উষ্ণতায় পাতিত করলে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং উপজাত পদার্থরূপে পাওয়া যায় সোডিয়াম বা পটাসিয়াম বাইসালফেট ও সালফেট লবণ। নাইট্রিক অ্যাসিড উদ্বায়ী, তাই তাপ প্রয়োগে এটি পাতিত হয়।

$$3MNO_3+2H_2SO_4 \text{ (গাঢ়)}=MHSO_4+M_2SO_4+3HNO_3$$

$$[\ M=Na \text{ বা } K\ ]$$

চিলির সমুদ্র উপকূলে প্রচুর পরিমাণে সোরা বা চিলিসল্টপিটার পাওয়া যায়। এটির প্রধান উপাদান হল সোডিয়াম নাইট্রেট। রেটর্ট প্রণালীতে সোরাকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে পাতিত করে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়।

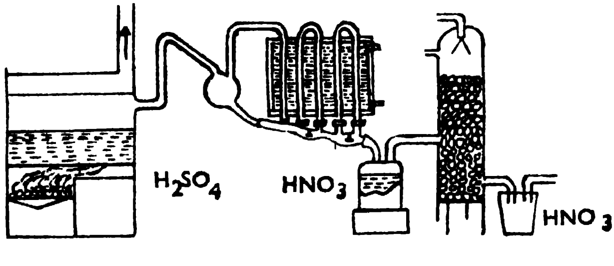
$$3NaNO_3+2H_2SO_4=NaHSO_4+Na_2SO_4+3HNO_3$$

প্রক্রিয়ার বিবরণ ঃ একটি বড় লোহার ট্যাঙ্কে (Iron retort) 3 : 2 মোল অনুপাতে সোরা ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ নেওয়া হয়। ট্যাঙ্কটি ইটের তৈরী প্রকোষ্ঠের ভিতর বসানো থাকে এবং কয়লার আগুনে এটিকে 200-250°C উষ্ণতায় সমভাবে (Uniformly) উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিড গ্যাস তরলে পরিণত হতে পারে না। [তরল অবস্থায় নাইট্রিক অ্যাসিড লোহার ট্যাঙ্কের ক্ষতি করে কিন্তু গ্যাসীয় অবস্থায় এটি লোহার উপর ক্রিয়াহীন। এইজন্য উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডকে গ্যাসীয় অবস্থায় রাখার ব্যবস্থা করা হয়।]

উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডের বাষ্পকে শীতল করার জন্য নির্গম-নলের সঙ্গে যুক্ত ও পরপর সাজানো পাথর বা মাটি দিয়ে তৈরী কতকগুলি শীতক-কুণ্ডলীর (Water-cooled earthen ware) মধ্য দিয়ে পরিচালিত করা হয়। এখানে অ্যাসিডের বাষ্প ঘনীভূত হয়ে তরলে পরিণত হয় এবং শীতকের নীচে অবস্থিত পাথরের গ্রাহকে সঞ্চিত হতে থাকে। গ্যাসের যে অংশ শীতকে ঘনীভূত হয় না তার মধ্যে NO_2-এর পরিমাণ বেশী থাকে। এটি উচ্চ তাপ-মাত্রায় HNO_3-এর বিয়োজনে উৎপন্ন হয়।

$$4HNO_3 = 4NO_2 + O_2 + 2H_2O$$

গ্যাস-মিশ্রণটি এরপর সু-উচ্চ শোষক-স্তম্ভের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। স্তম্ভটি পাথরের টুকরোতে ভরা থাকে এবং এটিতে উপর থেকে শীতল জলের ধারা



16. 2. 3নং চিত্র

দেওয়া হয়। ফলে NO_2 গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয়ে লঘু নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এই অ্যাসিড স্তম্ভের নীচে অবস্থিত গ্রাহকে সঞ্চিত হয় (16. 2. 3নং চিত্র)।

ভারতে প্রধানতঃ এই প্রণালীতে নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদন করা হয়।

16·3 সালফিউরিক অ্যাসিডঃ সমস্ত রকমের অ্যাসিডের মধ্যে সালফিউরিক অ্যাসিডের চাহিদা সর্বাধিক। বিভিন্ন শিল্প-প্রস্তুতিতে ও পেট্রোলিয়াম শোধনে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদনের শিল্প-পদ্ধতিগুলির মধ্যে স্পর্শ-পদ্ধতি অন্যতম।

স্পর্শ-পদ্ধতি (The contact process): নীতি ঃ সালফার বা আয়রন পিরাইটস (FeS_2)-কে পোড়ালে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাসকে বায়ুর অক্সিজেনের সাহায্যে প্রমাণ চাপে জারিত করে সালফার ট্রাই-অক্সাইডে পরিণত করা হয়। সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস জলে দ্রবীভূত হলে উৎপন্ন হয় সালফিউরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ। কিন্তু এই জারণ ক্রিয়ায় অনুঘটকের ব্যবহার একান্ত প্রয়োজন। সচরাচর প্লাটিনাম ঘটিত অ্যাসবেসটস(Platinised asbestos) বা ভ্যানাডিয়াম পেন্টক্সাইড (V_2O_5) অনুঘটক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

$$S+O_2=SO_2\;;\quad 4FeS_2+11O_2=2Fe_2O_3+8SO_2$$

$$2SO_2+O_2 \overset{V_2O_5}{\rightleftharpoons} 2SO_3+45\text{ KCal}$$

$$SO_3+H_2O=H_2SO_4$$

এই পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনের মুখ্য প্রক্রিয়া হল সালফার ডাই-অক্সাইডের জারণ থেকে সালফার ট্রাই-অক্সাইডের উৎপাদন। তাই সাধারণতঃ সালফার ট্রাই-অক্সাইডের সার্থক উৎপাদনের জন্য কয়েকটি বিশেষ ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়।

প্রয়োজনীয় ব্যবস্থাঃ (1) সালফার ডাই-অক্সাইডের জারণ ক্রিয়াটি উভমুখী এবং তাপোদ্গারক। সুতরাং লা শ্যাট-এলিয়ারের নীতি অনুসারে এক্ষেত্রে নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়াজাত পদার্থের উৎপাদন বেশী হওয়া সম্ভব। কিন্তু এই নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি অত্যন্ত মন্থর। তাই বিক্রিয়াটিকে একটি অনুকূলতম-উষ্ণতায় (Optimum temperature) সংঘটিত করানো হয়। যার ফলে বিক্রিয়ার গতি থাকে আশানুরূপ, আর সালফার ট্রাই-অক্সাইডের উৎপাদনও একেবারে কম হয় না। দেখা গেছে, প্লাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে এই পদ্ধতিতে অনুকূলতম-উষ্ণতাকে 450°C রাখলে SO_3-এর উৎপাদন সব চেয়ে বেশী হয়।

(2) উপরিউক্ত বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কগুলির আয়তন সংকোচন ঘটে। দুই আয়তন সালফার ডাই-অক্সাইড ও এক আয়তন অক্সিজেন মিলে দুই আয়তন সালফার ট্রাই-অক্সাইড তৈরী হয়। অর্থাৎ মোট তিন আয়তন বিক্রিয়ক থেকে দুই আয়তন বিক্রিয়াজাত পদার্থ পাওয়া যায়। লা শ্যাটএলিয়ারের নীতি অনুসারে এক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধি করলে সালফার ট্রাই-অক্সাইডের উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে। তবুও এই পদ্ধতিতে চাপের পরিমাণ বৃদ্ধি করা হয় না। কারণ, এমনিতেই অনুঘটকের উপস্থিতিতে উপযুক্ত উষ্ণতায় (450°C) প্রচুর পরিমাণে (প্রায় 100%) সালফার ট্রাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয়। এই পদ্ধতিতে সালফার ডাই-অক্সাইডের জারণ সাধারণতঃ 1·5—1·7 অ্যাটমসফিয়ার চাপে সংঘটিত হয়।

(3) উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি অনুঘটকের উপস্থিতিতে অতি সহজেই সংঘটিত হয়। সাধারণতঃ কঠিনাকার অনুঘটক ব্যবহার করা হয়। প্লাটিনামঘটিত অ্যাসবেসটস (Platinised asbestos) এবং প্লাটিনামঘটিত সিলিকাজেল (Platinised Silica gel) এই প্রক্রিয়ার পক্ষে উৎকৃষ্ট অনুঘটক। কিন্তু এগুলির দাম খুব বেশী। তাই বর্তমানে বহুক্ষেত্রে অপেক্ষাকৃত কম শক্তিশালী অনুঘটক ভ্যানাডিয়াম পেণ্টক্সাইড (V_2O_5) ব্যবহার করা হয়। কারণ এটির দাম খুব কম এবং প্লাটিনামঘটিত অ্যাসবেসটসের মত অতি সহজেই বিভিন্ন অপদ্রব্যের (আর্সেনাস অক্সাইড, ধূলিকণা ইত্যাদির) সংস্পর্শে কার্যকারিতা হারায় না। অনুঘটকগুলি সর্বদাই বিচূর্ণ অবস্থায় ব্যবহার করা হয়। এতে করে অনুঘটকের অনুঘটন-ক্ষমতা অনেক বেড়ে যায়।

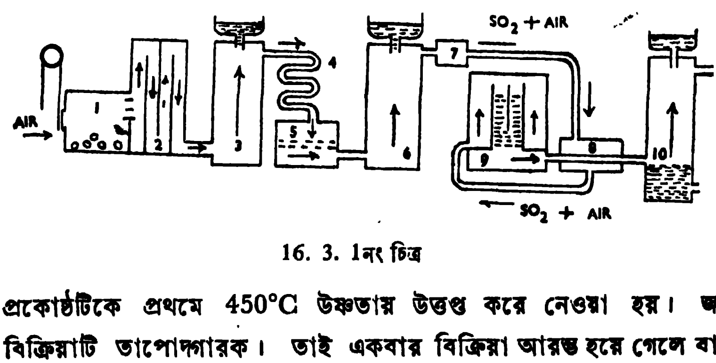
(4) বিক্রিয়ক গ্যাস-মিশ্রণে বায়ুর অনুপাত যথেষ্ট থাকা দরকার। বিক্রিয়ক গ্যাসগুলি অবশ্যই বিশুদ্ধ ও শুষ্ক হওয়া প্রয়োজন নতুবা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মূল্যবান অনুঘটকের ক্ষতি হওয়া স্বাভাবিক।

প্রক্রিয়ার বিবরণ : সালফার বা পিরাইটিসকে সালফার চুল্লীতে (1) পুড়িয়ে অধিকতর বিশুদ্ধ সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস তৈরী করা হয়। চুল্লী থেকে যে গ্যাস বের হয় তাতে 8% সালফার ডাই-অক্সাইড, 10% অক্সিজেন, 82% নাইট্রোজেন গ্যাস এবং ধূলিকণা, আর্সেনাস অক্সাইড প্রভৃতি অপদ্রব্য থাকে।

ধূলিরোধক স্তম্ভের (2) ভিতর দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় এই গ্যাস-মিশ্রণের ভাসমান ধূলিকণাগুলি দূরীভূত হয়। আংশিক পরিস্রুত গ্যাস-

মিশ্রণকে তখন একটি লেড স্তম্ভে (3) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের ধারায় ধোয়া হয়। ফলে গ্যাস-মিশ্রণের অপদ্রব্য As_2O_3 দূরীভূত হয়। তারপর জলে নিমজ্জিত সীসার নলের (4) মধ্য দিয়ে গ্যাস মিশ্রণকে পাঠিয়ে ঠাণ্ডা করা হয়। এই ঠাণ্ডা গ্যাস-মিশ্রণে যে অল্প পরিমাণে অ্যাসিড-কুয়াশা থাকে তা কোক ফিল্টারের (5) অ্যাসবেটস তন্তুর স্তরে শোষিত হয়। পরিশোধিত গ্যাস মিশ্রণটি তখন অ্যাসিড-নির্ঝর-কক্ষে (6) প্রবেশ করে। এই কক্ষটি পাথর কুচিতে ভরা থাকে এবং এর উপর থেকে 98% সালফিউরিক অ্যাসিডের ধারা প্রবাহিত করা হয়। এখানে গ্যাস মিশ্রণটি সম্পূর্ণরূপে নির্জলিত হয়, ফলে এই কক্ষ থেকে যে গ্যাস-মিশ্রণ বেরিয়ে আসে তা বিশুদ্ধ ও শুষ্ক। কক্ষ (7)-এ গ্যাস-মিশ্রণের মধ্যে আলোক রশ্মি পাঠিয়ে এর বিশুদ্ধতা ও শুষ্কতা পরীক্ষা করা হয়। এই গ্যাস-মিশ্রণের উষ্ণতা খুব কম থাকে। কিন্তু জারণ ক্রিয়াটি 450°C উষ্ণতায় সম্পন্ন করা প্রয়োজন। সুতরাং, বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠে পাঠানোর আগে এই গ্যাস-মিশ্রণকে আবার উত্তপ্ত করা প্রয়োজন। এজন্য একে তখন একটি তাপ বিনিময়কারী প্রকোষ্ঠের (8) (Heat-inter changer) মধ্য দিয়ে পরিচালিত করা হয়। এই প্রকোষ্ঠে রাখা সরু নলগুলির ভিতর দিয়ে জারণ ক্রিয়ায় উৎপন্ন উত্তপ্ত সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস প্রবাহিত হয় এবং বাহির দিয়ে প্রবাহিত হয় বিশুদ্ধ ও শুষ্ক গ্যাস-মিশ্রণ। ফলে, এই গ্যাস মিশ্রণটি উত্তপ্ত হয়।

শেষ পর্যায়ে এই উত্তপ্ত গ্যাস-মিশ্রণটি প্রবেশ করে বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে (9) (Contact Chamber)। এই প্রকোষ্ঠে খাড়াভাবে রাখা লোহার নলগুলির মধ্যে বিচূর্ণ অবস্থায় ভ্যানাডিয়াম পেণ্টক্সাইড অনুঘটক থাকে। এই



16. 3. 1নং চিত্র

প্রকোষ্ঠটিকে প্রথমে 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে নেওয়া হয়। কারণ বিক্রিয়াটি তাপোদ্গারক। তাই একবার বিক্রিয়া আরম্ভ হয়ে গেলে বাহির থেকে আর অতিরিক্ত তাপ প্রয়োগের দরকার হয় না। বিক্রিয়ায় উদ্ভূত

তাপেই প্রকোষ্ঠটি তাপিত অবস্থায় (400°C) থাকে। এখানে অনুঘটকের সংস্পর্শে 98% সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস বায়ুর অক্সিজেনের দ্বারা জারিত হয়ে সালফার ট্রাই-অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$$

উৎপন্ন সালফার ট্রাই-অক্সাইড তখন একটি শোষক স্তম্ভে (10) প্রবেশ করে। এই স্তম্ভের উপর থেকে 98% সালফিউরিক অ্যাসিডের ধারা দেওয়া হয়। 98% অ্যাসিডে 2% জল থাকে ; তা সালফার ট্রাই-অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং 100% সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4 \quad (100\%)$$

অতিরিক্ত সালফার ট্রাই-অক্সাইড গ্যাস 100% H_2SO_4-এ দ্রবীভূত হয়ে ওলিয়াম (Oleum) বা ধুমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করে।

$$SO_3 + H_2SO_4 (100\%) = H_2S_2O_7 \text{ (ওলিয়াম)}$$

ওলিয়াম শোষকস্তম্ভের তলায় গ্রাহক পাত্রে তরলাকারে সঞ্চিত হয়। এর সঙ্গে উপযুক্ত পরিমাণে জল মিশিয়ে বাণিজ্যিক সালফিউরিক অ্যাসিড (98%) প্রস্তুত করা হয়। প্রকোষ্ঠ-পদ্ধতিতেও (Chamber Process-এ) সালফিউরিক অ্যাসিড (65%) তৈরী করা যায়। কিন্তু স্পর্শ-পদ্ধতিতে উৎপন্ন অ্যাসিড প্রকোষ্ঠ-পদ্ধতির অ্যাসিড অপেক্ষা বেশী পরিমাণে গাঢ় ও বিশুদ্ধ হয়। তাছাড়া এই পদ্ধতির কার্যপ্রণালীও অনেক বেশী সহজ। এইসব কারণে আজ কাল সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প-প্রস্তুতিতে সাধারণতঃ স্পর্শ-পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়।

16.4 সুপার ফসফেট অব্ লাইম (Super phosphate of Lime)

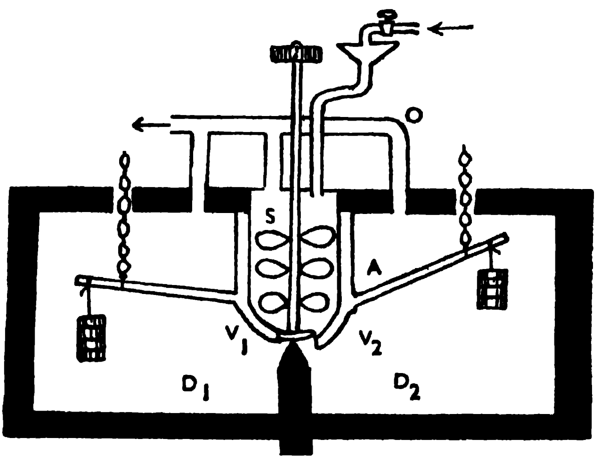
যে-সমস্ত কৃত্রিম সার জমির উৎপাদন ক্ষমতা বাড়ানোর জন্য ব্যবহৃত হয়। সুপার ফসফেট অব্ লাইম তাদের মধ্যে অন্যতম। **এটি মনো-ক্যালসিয়াম ফসফেট [$Ca(H_2PO_4)_2$] অনার্দ্র ক্যালসিয়াম সালফেট, $CaSO_4$ ও ফসফরিক অ্যাসিডের মিশ্র পদার্থ।** খনিজ ফসফেট জলে অদ্রাব্য, কিন্তু সুপার ফসফেট অব্ লাইম জলে দ্রাব্য। তাই খনিজ ফসফেট থেকে সুপার ফসফেট তৈরী করে তাকে জমিতে সার হিসাবে কাজে লাগানো হয়।

শিল্প-পদ্ধতিতে সাধারণতঃ ফসফরাইট খনিজ, $Ca_3(PO_4)_2$ ও 70% সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে সুপার ফসফেট অব লাইম তৈরী করা হয়।

$$5Ca_3(PO_4)_2+11H_2SO_4=4Ca(H_2PO_4)_2+2H_3PO_4+11CaSO_4$$

কঠিন পদার্থ (সুপার ফসফেট অব লাইম)

প্রক্রিয়ার বিবরণ ঃ ওজনের 3:2 অনুপাতে বিচূর্ণ খনিজ ফসফরাইট ও 70% সালফিউরিক অ্যাসিড (চেম্বার পদ্ধতিতে প্রস্তুত) মিশিয়ে একটি কাস্ট আয়রনের আধারে (A) নেওয়া হয়। মিশ্রণকে আলোড়কের (S) সাহায্যে প্রায় 2 মিনিট ধরে আলোড়িত করা হয়। তারপর মিশ্রণকে V_2 বা V_1 ভালবের মাধ্যমে নীচের প্রকোষ্ঠে (D_2 বা D_1) চালান করা হয়। (16.4.1 নং চিত্র) প্রকোষ্ঠে ফসফেটের সঙ্গে সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় প্রায় 100—110°C তাপ উদ্ভূত হয়। সমস্ত মিশ্রণটিকে এই



16. 4. 1নং চিত্র

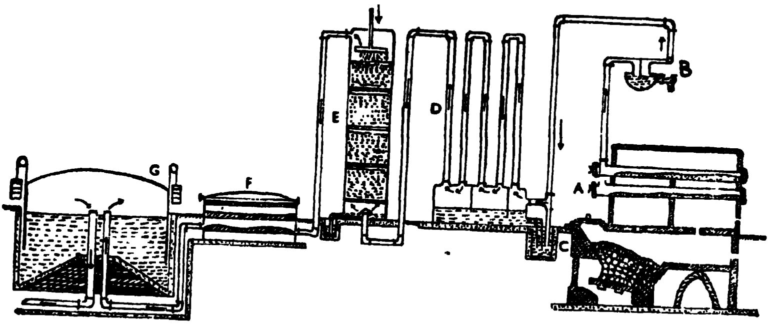
উষ্ণতায় 24 ঘণ্টা রেখে দিলে উৎপন্ন $Ca(H_2PO_4)_2$, H_3PO_4 ও $CaSO_4$ জমে কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। এই কঠিনাকার পদার্থই সুপার ফসফেট অব্ লাইম। এটিকে 8 থেকে 10 সপ্তাহ গুদামে রেখে তারপর বাজারে বিক্রী করা হয়। বিক্রিয়ায় উদ্ভূত গ্যাস-মিশ্রণকে (CO_2, HF, SiF_4) একটি নির্গম-নল (O) দিয়ে বাহিরে বের করে দেওয়া হয়। উপজাত HF ও SiF_4-এর মিশ্রণকে জলে শোষিত করলে পাওয়া যায় H_2SiF_6 ; পরে এটি থেকে মূল্যবান Na_2SiF_6 তৈরী করা হয়।

16.5 কোল-গ্যাস (Coal gas) ঃ প্রকৃতিতে যে কয়লা পাওয়া যায় তার প্রধান উপাদান হল কার্বন। কয়লার অন্তর্ধূম পাতন (Destruc-

tive distillation of coal) বা কয়লার কার্বনীকরণ (Carbonisation of coal) করে সাধারণতঃ পাঁচ রকমের রাসায়নিক পদার্থ পাওয়া যায় ; যথা—(1) কোক ; (2) কোল-গ্যাস ; (3) আলকাতরা ; (4) গ্যাস-কার্বন এবং (5) অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার। কয়লার অন্তর্ধূম-পাতনের উদ্বায়ী গ্যাসীয় অংশটিই হল কোল-গ্যাস। কোল গ্যাসে প্রধানতঃ গ্যাসীয় অ্যাসেটিলীন প্রভৃতি জৈব পদার্থ থাকে বলে ভাস্বর জালির সাহায্যে আলোক-উৎপাদনের ক্ষেত্রে এটি ব্যবহৃত হয়। আজকাল কোল-গ্যাস থেকে বেনজিন তৈরী করা হয়। কোল-গ্যাস উৎপাদনে অনেক মূল্যবান উপজাত পদার্থ পাওয়া যায় বলে কোল-গ্যাসের গুরুত্ব সর্বাধিক। কোল-গ্যাসে যে-সব গ্যাসীয় পদার্থ থাকে তাদের আয়তনিক শতকরা মাত্রা হলঃ হাইড্রোজেন, 33—55% ; মিথেন, 22—25% ; কার্বন মনোক্সাইড, 4—15% ; ইথিলীন, অ্যাসেটিলীন ও বেনজিন 2·5—5% ; নাইট্রোজেন, 2—20% ; কার্বন ডাই-অক্সাইড, 0—3% এবং অক্সিজেন, 0—1·5% ।

প্রক্রিয়ার বিবরণ ঃ শিল্প-পদ্ধতিতে কয়লার অন্তর্ধূম পাতনে সাধারণতঃ বিটুমেন কয়লা ব্যবহার করা হয়ে থাকে। পর পর সাজানো কয়েকটি বড় বড় অগ্নিসহা মৃত্তিকার তৈরী বকযন্ত্রের (A) (Fine clay retorts) দুই তৃতীয়াংশ বিটুমেন কয়লা দিয়ে ভর্তি করা হয়। লোহিত তপ্ত কোকের উপর দিয়ে বায়ু প্রবাহে উৎপন্ন প্রডিউসার-গ্যাসের সাহায্যে বকযন্ত্রগুলিকে 700—1000°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। ফলে কয়লার কার্বনীকরণে উদ্বায়ী গ্যাসীয় পদার্থ সমূহ উৎপন্ন হয়। নির্গত গ্যাস খাড়া আরোহণ-নলের (Ascension pipe) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে হাইড্রলিক মেইনে (B) (Hydraulic main) প্রবেশ করে। এখানে 60°C উষ্ণতায় ঠাণ্ডা হয়ে গ্যাসের কিছু অংশ তরলে পরিণত হয়। এতে থাকে আলকাতরা ও অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার। পরে এই তরল অংশ নীচের ট্যাঙ্কে (C) (Tar well) সঞ্চিত হয় এবং অবশিষ্ট গ্যাস (কোল-গ্যাস, HCN, H_2S, NH_3, CS_2 ইত্যাদি) তখন পর পর কয়েকটি শীতক-নলের (D) (Condensers) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে সাধারণ উষ্ণতায় ঠাণ্ডা হয় ; ফলে সম্পূর্ণ আলকাতরা ও অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার গ্যাস থেকে পৃথক হয়ে পড়ে এবং ট্যাঙ্কে সঞ্চিত হয়। ট্যাঙ্কের তরল আবার দুইটি স্তরে পৃথক হয়ে পড়ে। উপরের স্তরে থাকে অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার, আর নীচের স্তরে থাকে অপেক্ষাকৃত ভারী আলকাতরা জাতীয় পদার্থ। শীতক থেকে

নির্গত গ্যাস বায়ু নিষ্কাসনযন্ত্র (Exhausters) ও টার পৃথকীকরণের যন্ত্রের (Tar separator) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে ধৌত কক্ষে (E) (Washer) প্রবেশ করে। এই সুউচ্চ আয়রন টাওয়ারটি কোকে ভরা থাকে এবং উপর থেকে জলের ধারা দেওয়া হয় (16.5.1. নং চিত্র)। ধৌত গ্যাসে সামান্য পরিমাণে H_2S ও CS_2 অপদ্রব্য মিশ্রিত থাকে। শেষ পর্যায়ে গ্যাসকে



16. 5. 1নং চিত্র

পরিচালিত করা হয় শোধন কক্ষে (F) (Purifier)। এই কক্ষে তাকের উপর অবস্থিত আর্দ্র ফেরিক অক্সাইড গ্যাসের H_2S-কে সম্পূর্ণরূপে শোষণ করে নেয়।

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 6H_2O$$

পরিশোধিত গ্যাসকে বলা হয় কোল-গ্যাস। এই গ্যাস বড় বড় গ্যাস-ট্যাঙ্কে (G) (Gas-holders) সংগৃহিত হয়। **এই পদ্ধতিতে এক টন কয়লা থেকে 11000 ঘনফুট কোলগ্যাস পাওয়া যায়।**

বিঃ দ্রঃ শোধন কক্ষে উৎপন্ন Fe_2S_3-কে, বলা হয় স্পেণ্ট-অক্সাইড (Spent oxide)। আর্দ্র বায়ুর সংস্পর্শে স্পেণ্ট-অক্সাইড পুনরায় আর্দ্র ফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয় এবং সালফারের অধঃক্ষেপ পড়ে। সুতরাং কোল-গ্যাসের শিল্পোৎপাদনে উপজাত (By Product) পদার্থ হিসাবে সালফার উৎপন্ন হয়। এই আর্দ্র ফেরিক অক্সাইডকে পুনরায় শোধনকার্যে ব্যবহার করা হয়।

আর্দ্র ফেরিক অক্সাইডের পরিবর্তে কলিচূণ ব্যবহার করেও কোল-গ্যাসকে পরিশোধিত করা যায়।

$$Ca(OH)_2 + 2H_2S = Ca(SH)_2 + 2H_2O$$

কোনো কোনো কারখানায় কোল-গ্যাসকে সোডা এবং সোডিয়াম থায়ো-আর্সেনেটের দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করে এর H_2S, HCN প্রভৃতি অপদ্রব্য দূর করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনে স্পর্শ-পদ্ধতিতে কি কি সর্ত অবলম্বন করা হয়? এই পদ্ধতিকে স্পর্শ-পদ্ধতি বলা হয় কেন? পদ্ধতিটি সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

2. অ্যামোনিয়া থেকে কিভাবে নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদন করা হয় ?

3. বায়ু থেকে কোন্ শিল্প পদ্ধতিতে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়। সর্তাবলী উল্লেখ করে পদ্ধতিটির একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও।

4. অ্যামোনিয়া ঘটিত একটি লবণের নাম কর যেটি সার হিসাবে ব্যবহৃত হয়। সিন্ধ্রী-সার কারখানায় লবণটি কিভাবে প্রস্তুত করা হয় ?

5. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির শিল্প-প্রস্তুতি লেখ এবং ব্যবহার উল্লেখ কর

   (a) সুপার ফসফেট অব লাইম,

   (b) নাইট্রোলিম,

   (c) প্রডিউসার গ্যাস,

   (d) ওয়াটার গ্যাস।

6. লোহিত-তপ্ত কার্বনের উপর বায়ু ও জলীয় বাষ্পের বিক্রিয়াগুলি উল্লেখ কর। শিল্পে এই বিক্রিয়াগুলির ব্যবহারিক তাৎপর্য কি?

7. (a) কোল-গ্যাস কি? গ্যাসটির শতকরা সংযুতি লেখ এবং ওয়াটার গ্যাস ও প্রডিউসার গ্যাসের সঙ্গে কোল-গ্যাসের পার্থক্য উল্লেখ কর।

(b) কোল-গ্যাস প্রস্তুতির শিল্প-পদ্ধতি সংক্ষেপে বর্ণনা কর। কোল-গ্যাসে উপস্থিত উপজাত গুলিকে কিভাবে পৃথক করা হয়?

LOGARITHMS OF NUMBERS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
10	0000	0043	0086	0128	0170						5 9 13	17 21 26	30 34 38
						0212	0253	0294	0334	0374	4 8 12	16 20 24	28 32 36
11	0414	0453	0492	0531	0569						4 8 12	16 20 23	27 31 35
						0607	0645	0682	0719	0755	4 7 11	15 18 22	26 29 33
12	0792	0828	0864	0899	0934						3 7 11	14 18 21	25 28 32
						0969	1004	1038	1072	1106	3 7 10	14 17 20	24 27 31
13	1139	1173	1206	1239	1271						3 6 10	13 16 19	23 26 29
						1303	1335	1367	1399	1430	3 7 10	13 16 19	22 25 29
14	1461	1492	1523	1553	1584						3 6 9	12 15 19	22 25 28
						1614	1644	1673	1703	1732	3 6 9	12 14 17	20 23 26
15	1761	1790	1818	1847	1875						3 6 9	11 14 17	20 23 26
						1903	1931	1959	1987	2014	3 6 8	11 14 17	19 22 25
16	2041	2068	2095	2122	2148						3 6 8	11 14 16	19 22 24
						2175	2201	2227	2253	2279	3 5 8	10 13 16	18 21 23
17	2304	2330	2355	2380	2405						3 5 8	10 13 15	18 20 23
						2430	2455	2480	2504	2529	3 5 8	10 12 15	17 20 22
18	2553	2577	2601	2625	2648						2 5 7	9 12 14	17 19 21
						2672	2695	2718	2742	2765	2 4 7	9 11 14	16 18 21
19	2788	2810	2833	2856	2878						2 4 7	9 11 13	16 18 20
						2900	2923	2945	2967	2989	2 4 6	8 11 13	15 17 19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2 4 6	8 11 13	15 17 19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2 4 6	8 10 12	14 16 18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2 4 6	8 10 12	14 15 17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2 4 6	7 9 11	13 15 17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2 4 5	7 9 11	12 14 16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2 3 5	7 9 10	12 14 15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2 3 5	7 8 10	11 13 15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2 3 5	6 8 9	11 13 14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2 3 5	6 8 9	11 12 14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1 3 4	6 7 9	10 12 13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1 3 4	6 7 9	10 11 13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4083	4997	5011	5024	5038	1 3 4	6 7 8	10 11 12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1 3 4	5 7 8	9 11 12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1 3 4	5 6 8	9 10 12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1 3 4	5 6 8	9 10 11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1 2 4	5 6 7	9 10 11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1 2 4	5 6 7	8 10 11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1 2 3	5 6 7	8 9 10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1 2 3	5 6 7	8 9 10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1 2 3	4 5 7	8 9 10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1 2 3	4 5 6	8 9 10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1 2 3	4 5 6	7 8 9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1 2 3	4 5 6	7 8 9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1 2 3	4 5 6	7 8 9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1 2 3	4 5 6	7 8 9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1 2 3	4 5 6	7 8 9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1 2 3	4 5 6	7 7 8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1 2 3	4 5 5	6 7 8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1 2 3	4 4 5	6 7 8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1 2 3	4 4 5	6 7 8

LOGARITHMS OF NUMBER

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	123	456	789
·00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1091	0 0 1	1 1 1	2 2 2
·04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·07	.175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0 1 1	1 1 2	2 2 2
·08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0 1 1	1 1 2	2 2 3
·11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0 1 1	1 2 2	2 2 3
·12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0 1 1	1 2 2	2 2 3
·13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0 1 1	1 2 2	2 3 3
·19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0 1 1	1 2 2	3 3 3
·20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0 1 1	1 2 2	3 3 3
·21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0 1 1	2 2 2	3 3 3
·22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0 1 1	2 2 2	3 3 3
·23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0 1 1	2 2 2	3 3 4
·26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0 1 1	2 2 3	3 3 4
·27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0 1 1	2 2 3	3 3 4
·28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0 1 1	2 2 3	3 4 4
·34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1 1 2	2 3 3	4 4 5
·39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1 1 2	2 3 3	4 5 5
·40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1 1 2	2 3 4	4 5 5
·41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1 1 2	2 3 4	4 5 5
·42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1 1 2	2 3 4	4 5 6
·43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1 1 2	3 3 4	4 5 6
·44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1 1 2	3 3 4	4 5 6
·45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1 1 2	3 3 4	5 5 6
·48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1 1 2	3 4 4	5 6 6
·49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1 1 2	3 4 4	5 6 6

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
·51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
·56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
·59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
·60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
·70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
·75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
·80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
·85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
·89	7762	7780	7798	7316	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
·90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
·91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
·92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
·96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
·98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
·99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

Symbol, Valency and At. Wt. (based on C-12 Scale) of some chemical elements

Element	(Symbol ; valency)	Atomic wt.
Aluminium	(Al ; 3)	26.98
Antimony	(Sb ; 3, 5)	121.75
Argon	(Ar ; 0)	39.948
Arsenic	(As ; 3, 5)	74.92
Astatine	(At , 1, 7)	210.00
Barium	(Ba ; 2)	137.34
Beryllium	(Be ; 2)	9.012
Bismuth	(Bi ; 2, 3)	208.98
Boron	(B ; 3)	10.81
Bromine	(Br ; 1, 7)	79.909
Cadmium	(Cd ; 2)	112.40
Calcium	(Ca ; 2)	40.08
Carbon	(C ; 2, 4)	12.011
Chlorine	(Cl ; 1, 7)	35.453
Chromium	(Cr ; 2, 3, 6)	52.00
Cobalt	(Co ; 2, 3)	58.933
Copper	(Cu ; 1, 2)	63.54
Fluorine	(F ; 1)	19.00
Germanium	(Ge ; 4)	72.59
Gold	(Au ; 1, 3)	196.97
Helium	(He ; 0)	4.003
Hydrogen	(H ; 1)	1.007967
Indium	(In ; 3)	114.82
Iodine	(I ; 1, 7)	126.90
Iridium	(Ir ; 2, 4)	192.20
Iron	(Fe ; 2, 3)	55.85
Krypton	(Kr ; 0)	83.80
Lead	(Pb , 2, 4)	207.19
Lithium	(Li ; 1)	6.939
Magnesium	(Mg ; 2)	24.312
Manganese	(Mn ; 2, 3, 4, 6, 7)	54.94
Mercury	(Hg ; 1, 2)	200.59
Molybdinum	(Mo ; 2-6)	95.94
Neon	(Ne ; 0)	20.183
Nickel	(Ni ; 2, 3)	58.71
Nitrogen	(N ; 3, 5)	14.007
Oxygen	(O ; 2)	15.9994
Palladium	(Pd ; 2, 4-6)	106.4
Phosphorus	(P ; 3, 5)	30.974
Platinum	(Pt ; 2, 4-6)	195.09
Potassium	(K ; 1)	39.102
Radium	(Ra ; 2)	226.05
Radon	(Rn ; 0)	222
Selenium	(Se ; 2, 4, 6)	78.06
Silicon	(Si ; 4)	28.086
Silver	(Ag ; 1)	107.87
Sodium	(Na ; 1)	22.9898
Strontium	(Sr ; 2)	87.62
Sulphur	(S ; 2, 4, 6)	32.064
Tellurium	(Te ; 2, 4, 6)	127.60
Tin	(Sn ; 2, 4)	118.69
Titanium	(Ti ; 2-4)	47.90
Tungsten	(W ; 2-6)	183.85
Uranium	(U ; 3-6)	238.03
Vanadium	(V ; 1-5)	50.947
Xenon	(Xe ; 0)	131.30
Zinc	(Zn ; 2)	65.37